Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 8770570
Centre d'intérêt: 874

Brezina, Milan.

Manuel d'apprentissage de l'opérateur et du programmeur de machines-outils à commande numérique / Milan Brezina, Denis Dubé en collab. avec Hélènee Ouellet ; [pour le] PPMEP, Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke. -- Sherbrooke : Editions du CRP, [1986?].
4 v. (194; 198; 158; 320 p.) : ill. ; 28 cm.

Titre du dos: Manuel d'apprentissage de l'opérateur et du programme de MOCN. Glossaire. Index.

ISBN 2-920859-05-6

ISBN 2-920859-01-3

ISBN 2-920859-02-1

ISBN 2-920859-03-X

ISBN 2-920859-04-8

Vedette(s)-secondaire(s): Dubé, Denis * Ouellet, Hélène * Université de Sherbrooke. Programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel

---

Descripteur(s): Techniques physiques * Formation professionnelle * Manuel scolaire * Matériel didactique * Secondaire (Ordre d'enseignement)

Identificateur(s) de sujet: Commande numérique * Machine-outil à commande numérique * Opérateur * Programmeur

---

Au Québec, plusieurs écoles secondaires enseignent la commande numérique. Un problème se pose toutefois: il y a un manque de matériel didactique adéquat. Les auteurs ont élaboré un manuel d'apprentissage de la commande numérique en langue française, adapté au niveau professionnel. Ce manuel est un instrument pour les élèves et pour le maître. Il comprend 17 parties distinctes réparties en quatre cahiers. Le cahier 1 présente la nomenclature des symboles utilisés dans le manuel, une introduction, des définitions et l'historique de la commande numérique et une description des constituants des machines-outils à commande numérique. Le cahier 2 renferme les codes de programmation pour les opérations de fraisage et de tournage. Le cahier 3 expose 13 projets d'usinage permettant à l'élève d'assimiler la matière enseignée et de l'appliquer sur les machines-outils à commande numérique. Le cahier 4 s'adresse au professeur ou à toute autre personne qui voudrait prendre le cours de façon autodidacte. Il contient le corrigé des travaux, un test et le corrigé du test pour chacun des chapitres, sauf pour le chapitre 2. Il contient aussi les résultats des projets d'usinage du cahier 3. Le manuel propement dit contient 9 chapitres répartis dans les cahiers 1 et 2; il est complété par les annexes A à H qui forment les cahiers 3 et 4.

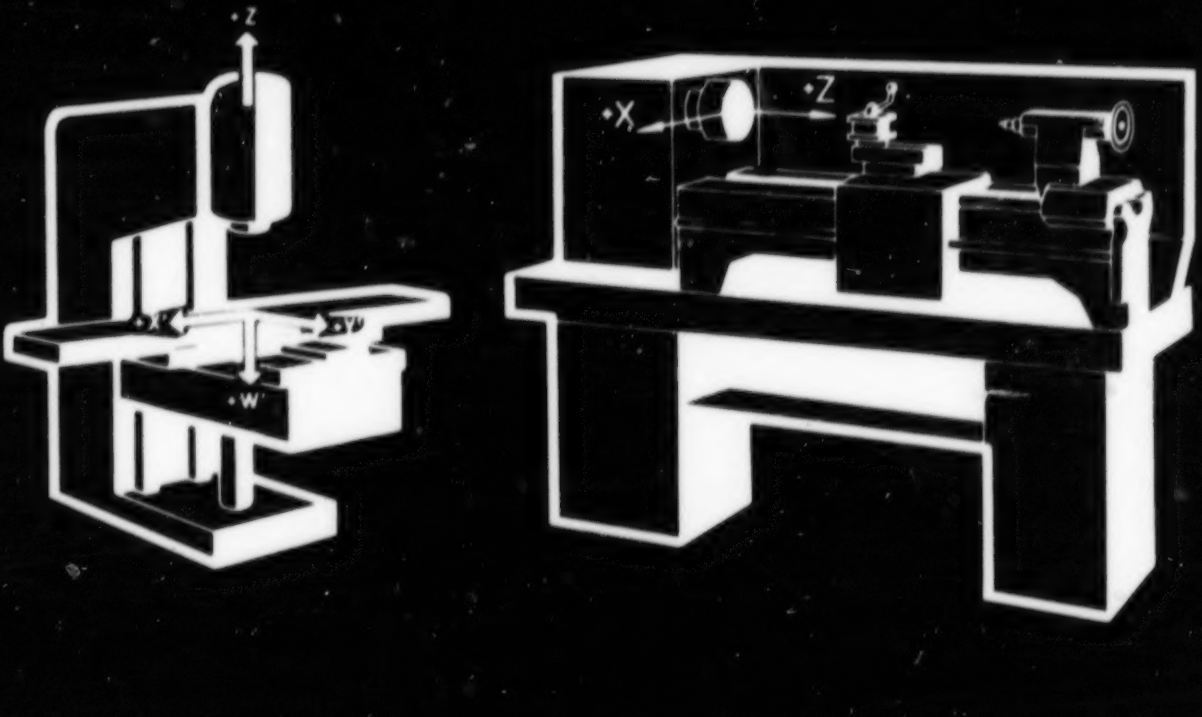
Type de document: r

FIN

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

MANUEL D'APPRENTISSAGE DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

MILAN BREZINA
DENIS DUBÉ
en collaboration avec
HÉLÈNE OUELLET



PPMEP
FACULTÉ D'ÉDUCATION
ÉDITIONS DU CRP

CAHIER 1

EDUQ 8770570A

Ce manuel comprend 17 parties distinctes réparties en 4 cahiers séparés. Voici un survol de chacun des cahiers.

- Le cahier 1 présente la nomenclature des symboles utilisés dans ce manuel, une introduction, des définitions et l'historique de la commande numérique, un rappel mathématique et une description des constituants des machines-outils à commande numérique (MOCN). Il traite des supports d'informations utilisés en commande numérique, de la syntaxe d'un programme et des conventions d'axes.

- Le cahier 2 renferme les codes de programmation pour les opérations du fraisage et de tournage; il traite aussi des compensations d'outil pour ces mêmes opérations.

- Le cahier 3 expose 13 projets d'usinage permettant à l'élève d'assimiler la matière enseignée et de l'appliquer sur les machines-outils à commande numérique. Il comprend un lexique et un index des principaux termes employés dans le manuel.

- Le cahier 4 s'adresse au professeur ou à toute autre personne qui voudront prendre le cours de façon autodidacte. Il contient le corrigé des travaux, un test et le corrigé du test pour chacun des chapitres sauf le chapitre 2 qui, lui, est jonché d'exercices. Il contient aussi les résultats des projets d'usinage du cahier 3.

Le manuel proprement dit contient 9 chapitres répartis dans les cahiers 1 et 2; il est complété par les annexes A à H qui forment les cahiers 3 et 4. Nous tenons à souligner que l'ordre de présentation des cahiers correspond à celui que nous jugeons le meilleur, mais il ne représente pas un cheminement strict d'utilisation. À tous, bon apprentissage!

N.B. La reproduction totale ou partielle des cahiers 1, 2 et 3 est interdite. Toutefois, pour des raisons pratiques, nous autorisons les enseignants à reproduire le cahier 4 dans le but de distribuer des tests et des corrigés aux élèves.

MILAN BREZINA
Professeur agrégé
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

DENIS DUBÉ
Ingénieur en mécanique
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

en collaboration avec

HÉLÈNE OUELLET
Professeure agrégée
Dép. de pédagogie
Faculté d'éducation

MANUEL D'APPRENTISSAGE DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

--- 1 ---

PPMEP

FACULTÉ D'ÉDUCATION

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Le présent manuel a été réalisé grâce à une subvention accordée par le ministère de l'Enseignement supérieur de la Science et de la Technologie dans le cadre du programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel.

(c) Publication du CRP

Tous droits réservés
Université de Sherbrooke
Faculté d'éducation
Programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel

3e trimestre 1986

ISBN 2-920859-05-6 (ensemble des 4 cahiers)
ISBN 2-920859-01-3 (cahier 1)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur participation à l'élaboration de ce manuel:

HENRI-CLAUDE LAINESSE, enseignant à l'école l'Escale d'Asbestos, pour sa participation à l'expérimentation avec son groupe d'élèves; [1]

ANDRÉ MARTIN, ingénieur, pour la réalisation de la plupart des figures du manuel;

JACYNTHE RODRIGUE, enseignante, pour la correction du français et de diverses tâches de secrétariat;

JEAN LAPOINTE, professeur au département de génie mécanique, pour sa collaboration;

GAÉTAN LAFLAMME, PIERRETTE DUPONT ET GÉRARD-RAYMOND ROY, responsables du PPMEP.

---

1 Dans ce manuel, le genre neutre masculin concerne également, s'il y a lieu, les hommes et les femmes, les élèves (garçons et filles), etc.

TABLE DES MATIÈRES

CAHIER 1

Table des matières..7

Préface...11

Numenclature..13

1 INTRODUCTION...21

1.1 Définition de la commande numérique..................22

1.2 Historique de la commande numérique..................23

1.3 Machine-outil classique vs machine-outil à commande numérique..25

1.3.1 Les 3 composantes principales d'une MOCN.........26

1.3.2 Des différences d'opération entre la MO classique et la MOCN...29

1.3.3 Avantages de la MOCN sur la MO classique.........31

1.3.4 Désavantages de la MOCN sur la MO classique......32

1.4 La CN à logique câblée vs la CN avec ordinateur....34

Travaux du chapitre 1...41

2 NOTIONS MATHÉMATIQUES.......................................43

2.1 Introduction...44

2.2 Algèbre..44

2.3 Géométrie analytique..53

2.3.1 Définition d'un axe..53

2.3.2 Système cartésien de coordonnées.......................54

2.3.3 Système de coordonnées polaires.........................65

2.3.4 La droite...71

2.3.5 Le cercle et les autres figures géométriques.........76

2.3.6 Les angles.....................................85

2.3.7 Le théorème de Pythagore et la distance entre
2 points.....................................87

2.3.8 Triangles semblables.....................................94

2.4 Trigonométrie.....................................97

3 CONSTITUANTS TECHNOLOGIQUES D'UNE MOCN.....................................107

3.1 Deux principes importants.....................................108

3.2 Les servo-mécanismes.....................................110

3.2.1 Les systèmes travaillant en boucle ouverte......110

3.2.2 Les systèmes travaillant en boucle fermée......110

3.2.3 Des schémas de systèmes.....................................112

3.3 Les instruments de mesure.....................................114

3.3.1 Les instruments de mesure analogiques...........116

3.3.2 Les instruments de mesure numériques...........119

3.3.3 Les tachymètres.....................................122

3.3.4 Les comparateurs.....................................123

3.4 Les moteurs et les actionneurs.....................................126

3.4.1 Les mouvements de la table et du chariot........126

3.4.2 La rotation de la broche.....................................129

3.4.3 Les actionneurs.....................................131

3.5 Les organes de transmission de mouvements de
translation.....................................132

3.5.1 L'écrou à billes.....................................132

3.5.2 La crémaillère creuse à vis sans fin...........133

3.5.3 Les glissières.....................................134

3.6 Les commandes de déplacement.....................................134

3.6.1 La commande "point à point".....................................134

3.6.2 La commande de "contournage" ou "continu"......135

Table des matières

3.6.3 Les interpolateurs....................................138

Travaux du chapitre 3.......................................140

4 L'INTRODUCTION DE PROGRAMMES DANS LA MOCN...................143

4.1 Les 2 sortes de programmes..............................143

4.2 Le système des nombres binaires.........................144

4.2.1 Décomposition d'un nombre.............................145

4.2.2 Comment compter avec les nombres binaires?............145

4.2.3 Comment convertir le nombre binaire 11010 en nombre décimal?...147

4.2.4 Comment convertir le nombre décimal 143 en nombre binaire?..147

4.3 Les façons d'introduire les programmes dans la MOCN..149

4.3.1 Introduction manuelle..................................149

4.3.2 Par l'intermédiaire d'un support d'informations.....................................149

4.3.3 Par l'intermédiaire d'un ordinateur.....................151

4.4 Les équipements nécessaires au traitement de la bande..154

4.4.1 Les lecteurs...154

4.4.2 La perforatrice..155

4.4.3 L'imprimante...156

4.5 Les codes de perforation..................................158

4.5.1 Le code EIA..158

4.5.2 Le code ISO ou ASCII...................................158

Travaux du chapitre 4.......................................161

5 LA PROGRAMMATION MANUELLE..................................165

5.1 La structure..166

Table des matières

5.2.1 Les systèmes d'unités de mesure....................169

5.2.2 Les origines Om, Op et Oo..........................169

5.2.3 Les systèmes d'axes.................................176

5.2.4 Le système d'axes d'un tour........................177

5.2.5 Le système d axes d'une fraiseuse verticale.....179

5.2.6 Le système d'axes d'une fraiseuse horizontale...180

5.2.7 Le système d'axes de la table d'une fraiseuse...181

5.2.8 Les translations additionnelles et les rotations......................................183

Travaux du chapitre 5...................................189

PRÉFACE

La commande numérique prend de plus en plus de place dans l'industrie québécoise. Aujourd'hui, beaucoup de grandes entreprises et aussi beaucoup de PME sont équipées de machines à commande numérique. Ces machines ne peuvent fonctionner sans opérateur et sans programmeur qualifiés. Certaines entreprises entraînent elles-mêmes leur personnel; d'autres engagent du personnel qualifié sortant des écoles. C'est là que nous intervenons.

Au Québec, plusieurs écoles secondaires enseignent la commande numérique. Un problème se pose toutefois; il y a un manque de matériel didactique adéquat. Nous avons tenté de créer un manuel d'apprentissage de la commande numérique de langue française, adapté au niveau professionnel et que nous avons voulu le plus complet possible.

Ce projet, subventionné par le MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE dans le cadre des projets du PPMEP, s'adresse plus particulièrement aux élèves du cours "Conducteur-régleur de machines à commande numérique".

Le manuel a été réalisé à L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE avec la collaboration des Facultés d'éducation et des sciences appliquées. Une expérimentation partielle a été effectuée à l'école secondaire l'Escale d'Asbestos dans le but de mieux adapter le contenu à la réalité du milieu scolaire.

Ce guide s'adresse à ceux qui veulent devenir opérateur ou programmeur de MOCN. Le langage de programmation utilisé est le langage machine aussi appelé la programmation manuelle. Nous ne prétendons pas, dans cette première approche, former des programmeurs d'élite.

Chacun des 9 chapitres renferme une brève introduction, les objectifs généraux et spécifiques du chapitre, le contenu à enseigner et des travaux pour l'élève. En annexe, le professeur a le corrigé des travaux, un test et le corrigé du test.

Préface

Ce manuel est un instrument pour les élèves et le maître. Dans l'expérimentation partielle, il a été utilisé comme support écrit aux exposés et démonstrations de l'enseignant, pouvant dispenser les élèves d'une prise de notes rapide et souvent difficile pour eux; comme cahier d'exercices permettant aux élèves d'intégrer les notions importantes par les travaux à la fin des chapitres 1-3-4-5-6-7-8-9 des cahiers 1 et 2; comme volume de référence dans une stratégie d'enseignement où certains élèves travaillent en classe, seuls et à leur rythme, pendant que leurs confrères travaillent en atelier sous la supervision directe du professeur; le chapitre 2 sur les notions mathématiques a été fréquemment utilisé dans ce sens. Cet usage a été ardu pour certains élèves éprouvant des difficultés en lecture mais il a permis de traiter des contenus complémentaires aux leçons magistrales.

Les principales unités de mesure utilisées sont le millimètre et le pouce. Nous avons volontairement utilisé les 2 unités pour mieux répondre à la réalité québécoise de l'utilisation de la commande numérique.

Nous ne prétendons pas vous offrir un manuel parfait et nous sommes conscients que les meilleurs juges en sont les utilisateurs. La réalisation d'un manuel scolaire comprend une part de participation à tous les niveaux soit le Gouvernement du Québec pour sa participation monétaire, les auteurs pour leur expertise et leur grande implication et vous, les utilisateurs en tant que critiques. C'est pourquoi, nous espérons recevoir vos commentaires dans le but d'améliorer ce manuel et possiblement d'en tirer une 2e édition. Tous vos commentaires sont les bienvenus, qu'il s'agisse de la découverte d'une faute de frappe ou de commentaires généraux reliés à vos expériences d'enseignement.

les auteurs

Pour commander ce manuel, s'adresser à...

Centre de ressources pédagogiques
Faculté d'éducation
Université de Sherbrooke
Sherbrooke, Québec, Canada
J1K 2R1
tél.: (819) 821-7410

NOMENCLATURE

a,b,c... = Longueur de segment de droite

A = Point de départ et d'arrivée d'un cycle de tournage

A = Point de référence situé sur la pièce usinée

A,B,C = Rotation principale

A,B,C,D = Angle

A,B,C,D = Constante

Aa = Point de tangence entre une droite et le cercle A

Ab = Point de tangence entre une droite et le cercle B

b = Ordonnée à l'origine d'une droite

B = Point d'intersection entre la droite AE et le cercle

B = Rotation principale

C = Rotation principale

d = Diamètre de l'outil

D = Diamètre

d1,d2... = Distance parcourue par l'outil servant au calcul du temps d'usinage

E = Point situé au centre de la partie circulaire de la pièce usinée

Ea = Point situé au centre du cercle A

Eb = Point situé au centre du cercle B

E1,E2... = Point intermédiaire

F1 et F2 = Borne fixe nos 1 et 2

H = Hauteur

H = Coordonnée selon l'axe X du centre d'un cercle, d'un ellipse ou d'une hyperbole

Ia = Valeur du mot I utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation avec une compensation d'outil automatique

Is = Valeur du mot I utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation du centre de l'outil (G40)

Ja = Valeur du mot J utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation avec une compensation d'outil automatique

Js = Valeur du mot J utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation du centre de l'outil (G40)

K = Coordonnée selon l'axe Y du centre d'un cercle, d'un ellipse ou d'une hyperbole

L = Longueur de l'outil

Lx = Longueur de l'outil selon l'axe X

Lz = Largeur de l'outil selon l'axe Z

L1,L2... = Dimension de longueur ou de largeur d'outil

℄ = Ligne de centre

m = Pente d'une droite

m1 et m2 = Pente des droites nos 1 et 2

M1 et M2 = Borne mobile nos 1 et 2

O = Origine

Oa,Ob,Oc = Origine des axes de rotation A, B, C

Oi = Origine machine intermédiaire selon l'axe X seulement

Om = Origine machine

Oo = Origine outil

Op = Origine programme

P = Point situé sur le coin d'un outil carré pour une opération de tournage

Nomenclature

P1,P2... = Point appartenant à l'itinéraire de l'outil dans le plan ou l'espace

P1P2 = Droite reliant les points P1 et P2

P1P2 = Arc de cercle reliant les points P1 et P2

$\overline{P1P2}$ = Distance entre les points P1 et P2

P1P2P3 = Angle formé par l'intersection des droites P1P2 et P2P3

P1P2P3 = Triangle reliant les points P1, P2 et P3

P4ap = Point situé juste après le point P4

P4av = Point situé juste avant le point P4

P101,... = Point n'appartenant pas à l'itinéraire de l'outil dans le plan ou l'espace

P' = Point situé sur un autre coin d'un outil carré que le point P

P'1,... = Point P' du coin de l'outil permettant d'usiner le point P1,...

r = Rayon de l'outil

R = Rayon

R = Rayon de la partie circulaire de la pièce usinée

R = Point de référence sur le porte-outil de la fraiseuse

Ra = Rayon de la partie circulaire convexe de la pièce usinée

Rb = Rayon de la partie circulaire concave de la pièce usinée

Rmax = Rayon maximum de courbure utile à l'usinage de la pièce

R1,R2... = Rayon de la partie circulaire de la pièce usinée

S = Point situé au centre de l'outil

Sa = Point situé au centre de l'outil lors de l'usinage du point Aa

Sb = Point situé au centre de l'outil lors du l'usinage du point Ab

SP = Point où est situé l'outil au départ du programme pièce; l'origine outil (Oo) se trouve aussi en cet endroit dans nos programmes pièces

T1 et T2 = Point de tangence supérieur et inférieur respectivement entre le cercle et les 2 droites

U,V,W = Axe secondaire de translation

X,Y,Z = Axe principal de translation

X,Y,Z = Variable

XA,XB... = Coordonnée selon l'axe X des points A, B...

XOi = Coordonnée selon l'axe X du point Oi

XOm = Coordonnée selon l'axe X du point Om

XOo = Coordonnée selon l'axe X du point Oo

XOp = Coordonnée selon l'axe X du point Op

X1,X2... = Coordonnée selon l'axe X des points P1, P2...

X4ap = Coordonnée selon l'axe X du point situé juste après le point P4

X4av = Coordonnée selon l'axe X du point situé juste avant le point P4

X4s = Coordonnée selon l'axe X du point S de l'outil lorsque l'outil usine le point P4

X101,... = Coordonnée selon l'axe X des points P101,... qui n'appartiennent pas à l'itinéraire de l'outil

$\overline{X1X2}$ = Distance selon l'axe X entre les points P1 et P2

X',Y',Z' = Axe de la table de la fraiseuse

X'1,... = Coordonnée selon l'axe X du point P' du coin de l'outil permettant d'usiner le point P1,...

Nomenclature

Y	= Axe principal de translation
YA, YB...	= Coordonnée selon l'axe Y des points A, B...
YOo	= Coordonnée selon l'axe Y du point Oo
YOp	= Coordonnée selon l'axe Y du point Op
Y1, Y2...	= Coordonnée selon l'axe Y des points P1, P2...
Y4ap	= Coordonnée selon l'axe Y du point situé juste après le point P4
Y4av	= Coordonnée selon l'axe Y du point situé juste avant le point P4
Y4s	= Coordonnée selon l'axe Y du point S de l'outil lorsque l'outil usine le point P4
Y101,...	= Coordonnée selon l'axe Y des points P101,... qui n'appartiennent pas à l'itinéraire de l'outil
$\overline{Y1Y2}$	= Distance selon l'axe Y entre les points P1 et P2
Y'	= Axe de la table de la fraiseuse
Z	= Axe principal de translation
ZA, ZB...	= Coordonnée selon l'axe Z des points A, B...
Zb	= Cote Z de la partie la plus basse de l'outil
Z min	= Le plus bas niveau Z à atteindre par l'outil
ZOi	= Coordonnée selon l'axe Z du point Oi
ZOm	= Coordonnée selon l'axe Z du point Om
ZOo	= Coordonnée selon l'axe Z du point Oo
ZOp	= Coordonnée selon l'axe Z du point Op
Zp	= Cote Z programmée
Z1, Z2...	= Coordonnée selon l'axe Z des points P1, P2...

Z101,...	= Coordonnée selon l'axe Z des points P101,... qui n'appartiennent pas à l'itinéraire de l'outil
Z'	= Axe de la table de la fraiseuse
Z'1,...	= Coordonnée selon l'axe Z du point P' du coin de l'outil permettant d'usiner le point P1,...

α	= Alpha = Angle d'élévation d'une droite par rapport à l'axe X ou l'axe Z
$\alpha 1$ et $\alpha 2$	= Angle d'élévation des droites no 1 et no 2 par rapport à l'axe X
β	= Bêta = Angle
Δx	= Delta = Compensation d'outil selon l'axe X
Λx	= Distance entre 2 points selon l'axe X
Δxa	= Distance selon l'axe X entre les points Ea et Sa
Δxb	= Distance selon l'axe X entre les points Eb et Sb
Δxc	= Distance selon l'axe X entre les points Ea et Aa
Δxd	= Distance selon l'axe X entre les points Eb et Ab
Δy	= Compensation d'outil selon l'axe Y
Λy	= Distance entre 2 points selon l'axe Y
Δya	= Distance selon l'axe Y entre les points Ea et Sa
Δyb	= Distance selon l'axe Y entre les points Eb et Sb
Δyc	= Distance selon l'axe Y entre les points Ea et Aa
Δyd	= Distance selon l'axe Y entre les points Eb et Ab

Nomenclature

λz = Compensation d'outil selon l'axe Z

Δz = Distance entre 2 points selon l'axe Z

θ = Thêta = Angle

π = Pi = 3.14159265...

ϕ = Phi = Diamètre

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--- CHAPITRE 1 ---
INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons étudier ce qu'est la commande numérique, ce qu'est une machine-outil à commande numérique (MOCN) ainsi que les applications et limitations de cette technologie.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Familiariser l'élève à la commande numérique des machines-outils, aux applications, avantages et désavantages de cette technologie.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre, l'élève devrait être capable de...

    - définir ce qu'est la commande numérique;

    - différencier ce qui est commandable par une MOCN de ce qui ne l'est pas;

    - nommer quelques faits historiques propres à la commande numérique;

    - nommer et définir les principales composantes d'une MOCN;

    - nommer les avantages et désavantages de la MOCN versus la MO classique;

    - reconnaître une MOCN et ses composantes;

    - différencier la logique programmée de la logique câblée.

1.1 DÉFINITION DE LA COMMANDE NUMÉRIQUE

La CN (Commande Numérique) est une méthode de contrôle des machines dans laquelle la principale tâche de l'opérateur est de fournir à la machine des instructions composées de chiffres, de lettres et de caractères de ponctuations (. * : ; , etc.). Une telle combinaison de caractères s'appelle combinaison alphanumérique.

La traduction mot à mot de CN (Commande Numérique) est "Commande par les nombres". Pour être plus exact, il faudrait dire "Commande par les caractères alphanumériques". À partir des caractères alphanumériques, on peut donner les instructions à la MO (Machine-Outil) pour commander:

- le déplacement du chariot et de la table,
- le déplacement de l'outil,
- la vitesse d'avance de la broche et/ou de l'outil par rapport à la table et/ou le chariot,
- le sens et la vitesse de rotation de la broche,
- les changements d'outils automatiques,
- l'arrosage,
- l'évacuation de copeaux,
- etc.

La technologie de la commande numérique ne sert pas qu'au domaine des MO (Machines-Outils). Voici quelques unes des autres applications de cette technologie.

- Soudage.
- Peinture (ex.: carrosseries d'automobiles).
- Assemblage automatisé.
- Dessin technique.
- Inspection des pièces usinées et contrôle de leur qualité.

1.2 HISTORIQUE DE LA COMMANDE NUMÉRIQUE

L'être humain a depuis toujours tenté d'améliorer l'efficacité des outils dont il dispose, de les rendre plus autonomes et plus souples. Dès l'arrivée du 19e siècle, des machines contrôlées par des nombres furent créées. Voici quelques dates et faits historiques qui ont marqués l'évolution de la technologie de la CN (Commande Numérique).

1728 - Des machines à tisser sont contrôlées à partir de cartes perforées en Angleterre.

1863 - L'invention du piano mécanique contrôlé à partir d'une bande perforée.

1947 - Un industriel, John C. Parsons, lance l'idée de relier un ordinateur à une pointeuse pour fabriquer des hélices d'hélicoptères.

1952 - Le "Massachusetts Institute of Technology", aux Etats-Unis, entreprend des recherches à partir de l'idée de Parsons et met au point une fraiseuse commandée numériquement.

1959 - Naissance du langage APT. Ce langage permet la programmation des MOCN (Machine-Outil à Commande Numérique) à l'aide d'un ordinateur. Ce langage sera mentionné de façon plus détaillée dans un chapitre ultérieur.

1960 - Apparition du changement d'outils automatique.

1965 - Les circuits intégrés sont incorporés dans des MOCN (Machine-Outil à Commande Numérique) pour rendre le système de commande plus compact et plus simple à programmer. Le soudage, le dessin et l'assemblage sont quelques-unes des nouvelles applications de la CN.

1968 - Naissance de la CNC (Commande Numérique par Calculateur). Ce genre de CN va remplacer l'ancien genre qui est la CN à logique câblée. Les termes CNC et logique câblée seront expliqués plus loin dans le chapitre.

1980 - Apparition des logiciels plus diversifiés et d'une puissance de calcul accrue. Voici quelques-unes de ces nouvelles technologies apparues jusqu'à nos jours.

- Apparition de la mémoire à bulles. Ce genre de mémoire permet une plus grande capacité de stockage. Dans certaines entreprises, tous les programmes pièces nécessaires à l'usinage des diverses pièces sur une MOCN (Machine-Outil à Commande Numérique) seront emmagasinés dans la mémoire de cette MOCN.

- Programmation en coordonnées polaires.

- Définition de zones de sécurité. On peut définir des zones où l'outil ne pourra jamais aller. Ceci permet d'éviter des collisions entre l'outil, la broche, la table, le chariot, le mandrin, le support de la pièce et la pièce elle-même.

- Affichage sur l'écran du DCN (Directeur de Commande Numérique) des messages d'erreur de programmation.

- Affichage graphique du trajet de l'outil sur l'écran du DCN (Directeur de Commande Numérique).

- Apparition de programmes qui détectent les pannes du DCN et permettent de localiser les anomalies. On peut maintenant parler d'autodiagnostique.

- Apparition d'interfaces de robotique qui permettent la communication entre les MOCN et un ou plusieurs robots.

- Contrôle automatique des outils usés et brisés. La MOCN détecte et change elle-même ses outils brisés ou usés. Certaines MOCN peuvent même compenser l'usure de l'outil par un décalage de ce dernier.

  Exemple: Un outil doit fraiser une plaque d'acier pour qu'elle ait une épaisseur de 1 pouce. Puisque l'outil est usé de 1/1000 pouce, la plaque est usinée à 1.001 pouce d'épaisseur. Avec une correction d'outil automatique, la MOCN ajustera elle-même ses dimensions de coupe pour usiner la plaque à 1 pouce exactement.

- Apparition de la DNC (Commande Numérique Directe). Plusieurs MOCN d'une entreprise sont reliées à un ordinateur central et forment un réseau de communications qui gère la production de pièces. Ne pas confondre DNC avec DCN (Directeur de Commande Numérique).

N.B. Quelques-unes des dates mentionnées dans cet historique sont approximatives.

1.3 MACHINE-OUTIL CLASSIQUE VS MO À COMMANDE NUMÉRIQUE

1.3.1 LES 3 COMPOSANTES PRINCIPALES D'UNE MOCN

La MOCN (Machine-Outil à Commande Numérique) ressemble à une MO classique avec quelques équipements de plus. Un opérateur peut usiner des pièces sur une MO classique, mais il ne pourra pas commander une MO à l'aide de la CN sans l'apport d'équipements additionnels. Une installation d'équipements à CN comprend toujours 3 composantes principales.

1 - La machine (dans la plupart des cas une machine-outil).

2 - Un système qui contrôle la machine appelé DCN (Directeur de Commande Numérique). Le DCN est une armoire métallique avec un pupitre de commande qui comprend plusieurs touches et contrôles. C'est probablement pour cette raison que le DCN est parfois appelé le "contrôle". La plupart des DCN actuels sont munis d'un écran sur lequel on peut faire afficher différentes instructions, messages d'erreurs, programmes pièces, etc.

3 - Une interface qui assure la communication entre les 2 composantes précédentes. L'interface est dans une autre armoire située parfois à côté ou en arrière de la machine. Cette armoire est normalement munie d'un interrupteur de courant d'alimentation de la MOCN. Parfois l'interface et le DCN sont dans la même armoire métallique.

On peut comparer la MOCN au corps humain. Les 3 composantes principales d'une MOCN se retrouvent dans le corps humain.

1 - Des bras et des jambes.

2 - Un cerveau qui contrôle les bras et les jambes.

3 - Un système nerveux qui assure la communication entre les 2 composantes précédentes.

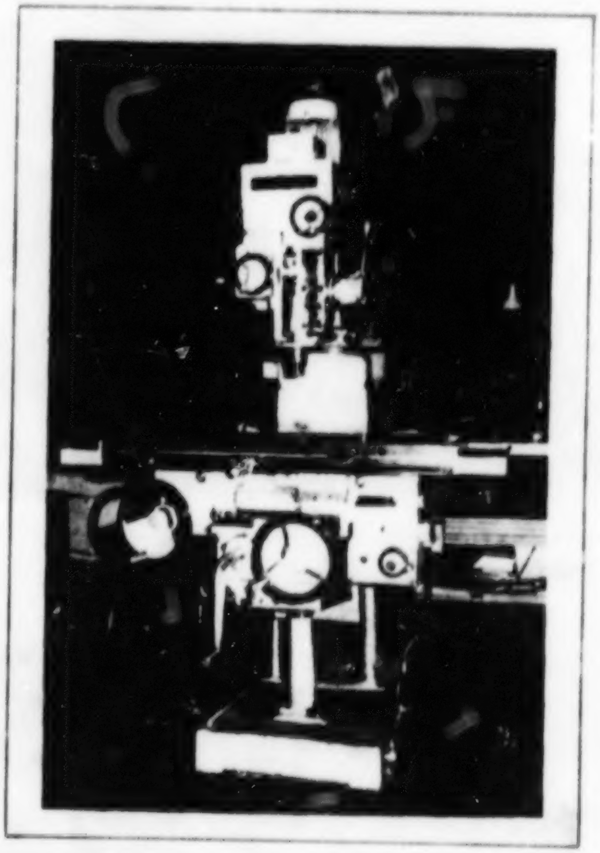


FIGURE 1.1 MACHINE-OUTIL CLASSIQUE

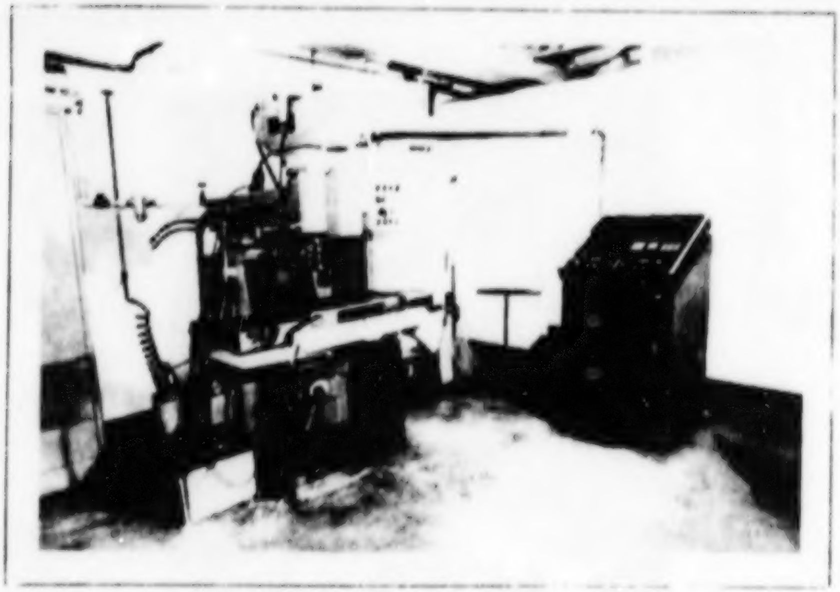


FIGURE 1.2 MOCN À 2 ARMOIRES

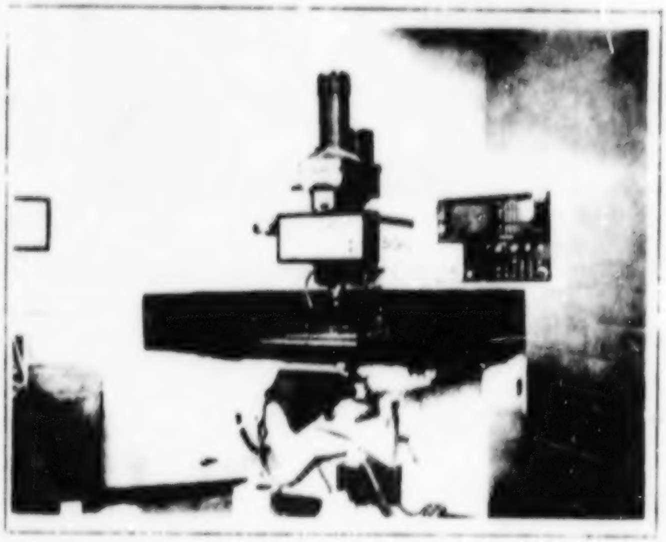


FIGURE 1.3 MOCN À UNE ARMOIRE

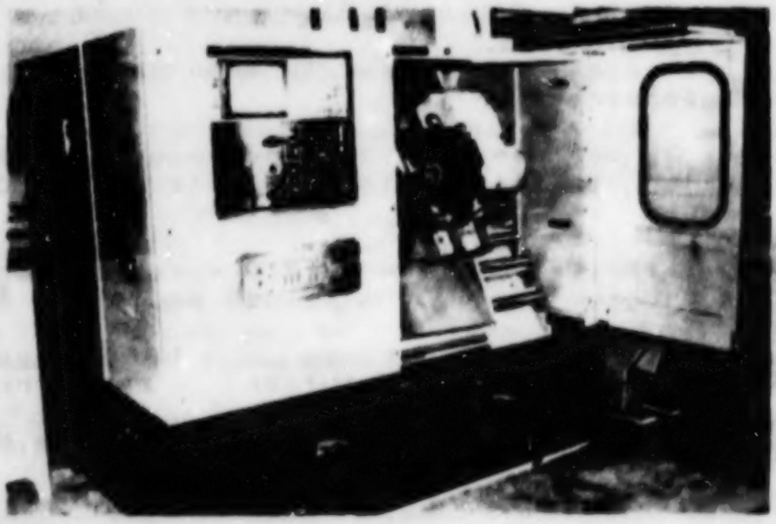


FIGURE 1.4 MOCN AVEC ARMOIRE INCORPORÉE

1.3.2 DIFFÉRENCES D'OPÉRATION ENTRE LA MO CLASSIQUE ET LA MOCN

La MOCN n'est pas munie de manivelle, elle est plutôt munie de moteurs. De plus, de nombreux systèmes électriques et mécaniques assurent une meilleure précision, une meilleure fiabilité et une protection de la machine (interrupteurs de fin de course par exemple). Plutôt que de lire les positions sur le cadran, l'opérateur lit les positions sur l'écran du DCN.

Voici un exemple pour différencier les technologies de la MO classique et celle de la MOCN. Supposons qu'on veut percer un trou au point P3 dans une plaque d'acier et que:

- le foret se trouve dans la broche de la MO;
- le centre du foret et de la broche sont au départ positionnés sur un coin de la plaque à percer, soit au point P1;

- le foret est positionné verticalement dans la broche, c'est-à-dire perpendiculairement au plan du papier (voir Figure 1.5);

- le diamètre de l'outil est le même que celui du trou à percer;

- l'outil se déplace de 0.25 pouce pour chaque révolution complète de la manivelle de la MO classique;

- la manivelle est divisée en 250 encoches donc chaque encoche équivaut à 1/1000 pouce;

$$1/250 \frac{\text{révolution}}{\text{encoche}} * 0.25 \frac{\text{pouce}}{\text{révolution}} = 1/1000 \frac{\text{pouce}}{\text{encoche}}$$

- la table de la MO est immobile et c'est la broche qui se déplace.

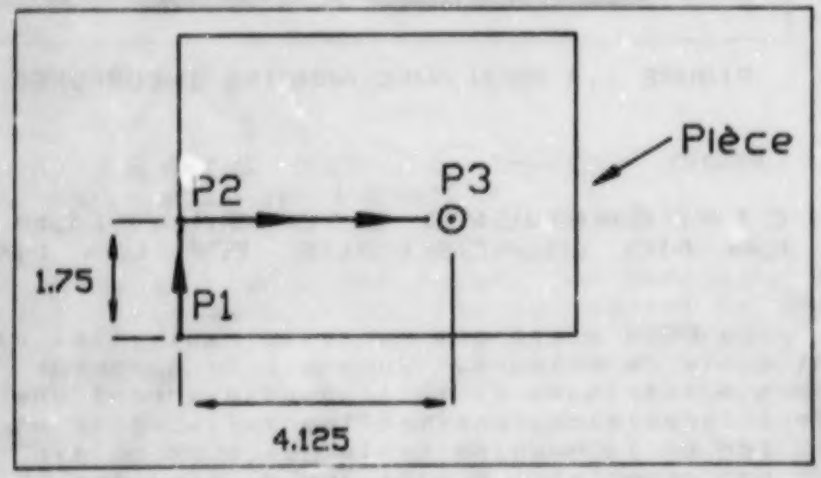


FIGURE 1.5

- <u>Sur une MO classique</u>

1 - Pour aller du point P1 au point P2, l'opérateur compte 7 révolutions de manivelle.

7 rév * 0.25 po/rév = 1.75 pouce

2 - Pour aller du point P2 au point P3, l'opérateur compte 16 révolutions d'une autre manivelle plus 125 encoches.

16 rév * 0.25 po/rév = 4.0 pouces

125 encoches * 1/1000 po/encoche = 0.125 pouces

4.0 + 0.125 = 4.125 pouces

3 - L'opérateur peut maintenant procéder au perçage du trou.

- Sur une MOCN

1 - L'opérateur introduit les distances 1.75 pouce et 4.125 pouces par l'intermédiaire de son clavier de commandes.

2 - L'opérateur actionne le déplacement du point P1 au point P3.

3 - L'opérateur commande à la MOCN de percer un trou.

1.3.3 AVANTAGES DE LA MOCN SUR LA MO CLASSIQUE

- Usinage de meilleure précision. Un opérateur sur une MO classique peut oublier ou ajouter un tour de manivelle, mais la MOCN, elle ne se trompe pas. Le nombre de rebuts est moindre.

- On sauve de l'espace dans l'usine puisque la MOCN peut souvent remplacer plusieurs MO classiques. Une fraiseuse à CN peut aussi effectuer les opérations de perçage, taraudage, alésage, etc.

- Le taux de production est plus élevé. Il est probablement plus rapide d'usiner une série de pièces (ex.: 50 pièces identiques) sur une MOCN que sur une MO classique. Par conséquent, à long terme, le coût de production sera réduit. Le nombre réduit de changement de bridage augmente aussi le taux de production.

- L'inventaire des outils de coupe est moins dispendieux.

- Fiabilité accrue. Un opérateur qui usine des pièces sur une MO classique se fatigue et peut faire des erreurs, surtout à la fin de sa journée. La MOCN reste aussi fiable du début jusqu'à la fin de la journée.

- Réduction de l'inventaire des pièces. Le redémarrage d'une nouvelle série de pièces est rapide. À cause de cela, on n'a pas à garder en stock une grande quantité de pièces au cas où un client aurait un besoin urgent. Si un client manifeste un tel besoin, on peut redémarrer rapidement l'usinage de la nouvelle série de pièces sur la MOCN pour lui produire la quantité de pièces désirées.

- L'inspection et le contrôle de la qualité sont moins coûteux et plus rapides. On inspecte parfois que la première et la dernière pièce du lot produit.

- La similitude entre les pièces est plus grande.

- Le risque de blessure de l'opérateur est réduit.

1.3.4 DÉSAVANTAGES DE LA MOCN SUR LA MO CLASSIQUE

- Le prix d'achat d'une MOCN est de beaucoup supérieur au prix d'une MO classique.

- La mise en oeuvre de la CN demande des machinistes spécialisés. L'entreprise pourra embaucher du personnel qualifié ou former et recycler des machinistes de l'usine. Des employés d'autres départements de l'usine devront aussi se recycler.

- L'entretien des MOCN demande un personnel spécialisé.

- La MOCN ne pense pas. Si l'opérateur lui donne une instruction qu'elle ne comprend pas, soit qu'elle s'arrêtera, soit qu'elle exécutera un mouvement insensé. Si l'opérateur omet un détail, la MOCN ne pourra pas le penser à sa place. Tout le travail de préparation doit donc être exécuté minutieusement.

> Exemple: L'opérateur demande à la machine de positionner la broche à un tel endroit et de descendre à une telle vitesse pour percer un trou dans une plaque. S'il omet de lui spécifier le sens de rotation de la broche, la vitesse de rotation de la broche et de commander au moteur d'entrainer la broche, celle-ci ne tournera pas. Le foret qui est dans la broche frappera donc la plaque sans tourner et quelque chose cassera.

Il faut ajouter qu'une MOCN, comme une MO classique, est limitée par les caractéristiques des moteurs, des vis d'avance, etc. Si le chariot peut se déplacer de gauche à droite sur 1.5 mètre, on ne pourra pas exécuter une instruction demandant de percer un trou à 3 mètres de l'endroit où le chariot se trouve présentement. Aussi, il est évident que la puissance de coupe ne pourra pas dépasser celle des moteurs de la MO, etc.

Il existe un autre genre de machine qui peut se situer entre la MO classique et la vraie MOCN. On retrouve ces machines surtout dans les PME (Petites et Moyennes Entreprises). Il s'agit d'une MO classique modifiée en faisant un ajustement appelé en anglais "retrofit" pour en faire une MOCN. Cette transition est moins coûteuse que celle d'acheter une MOCN neuve. Ce genre de MO peut être aussi fiable qu'une MOCN neuve si la MO classique que l'on veut adapter est, au départ, de bonne qualité. Si l'on modifie une vieille MO classique déjà usée, donc peu précise, on ne pourra jamais avoir une MOCN qui donnera de bons résultats.

1.4 LA CN À LOGIQUE CABLÉE VS LA CN AVEC ORDINATEUR

La technologie de la CN évolue rapidement. Une des nombreuses transformations qu'ont subies les MOCN, c'est de passer de la CN à logique câblée (LC) à la CN avec ordinateur. (Le mot "calculateur" est aussi très employé pour désigner un "ordinateur", d'où l'abréviation CNC ce qui veut dire Commande Numérique par Calculateur. L'abréviation anglaise est aussi CNC pour Computer Numerical Control.)

La différence entre les 2 genres de MOCN se situe surtout au niveau du DCN (Directeur de Commande Numérique). Les 2 autres composantes principales d'une MOCN (la machine et l'interface) n'ont pas été tellement touchées par cette transformation.

On peut séparer les organes d'un système en 3 catégories.

1 - <u>Les organes de travail</u> sont ceux qui physiquement produisent du travail. Pour une MOCN, ce sont des moteurs qui déplacent le chariot et qui font tourner la broche. C'est la pompe qui amène le fluide de coupe. C'est le mécanisme de changement d'outils automatique. Ce sont aussi des voyants lumineux qui indiquent à l'opérateur l'état du système.

2 - <u>Les organes de perception</u> sont ceux qui perçoivent l'état du système. Pour une MOCN, ce sont des capteurs qui perçoivent la position du chariot. C'est le tachymètre qui perçoit la vitesse de rotation de la broche. Ce sont les différents interrupteurs par lesquels la machine perçoit la volonté de l'opérateur. Ce sont aussi des interrupteurs de fin de course qui perçoivent les positions limites du chariot.

3 - <u>Les organes de logique</u> sont ceux qui assurent la gestion des organes de travail et de l'information provenant des organes de perception. Pour une MOCN, ce sont des relais qui activent des organes de travail et qui sont activés par des organes de perception ou par d'autres organes de logique. Ce sont des compteurs qui contrôlent les positions et les vitesses. Ce sont des horloges qui contrôlent le temps.

<u>Qu'est-ce que la CN à logique câblée</u>? La logique, c'est une série de règles qui régissent le fonctionnement du système. Le fait qu'en spécifiant le code G01 sur une fraiseuse à CN, le DCN commande à la machine de déplacer la broche plutôt que de la faire tourner ou bien d'arroser la pièce, ceci est dû à la logique du système.

Qu'elle soit câblée, cela veut dire que la logique est assurée par des câbles, qu'une grande quantité de fils électriques relient des relais, des compteurs, des systèmes de perception et de travail, etc. La seule façon de changer la logique du système est de demander à un électricien de modifier les connections électriques (le câblage). Ceci est long et coûteux.

On peut dire à toute fin pratique que la logique d'un tel système est figée. Aujourd'hui, les MOCN à logique câblée ne se fabriquent plus, mais il existe toujours de ces machines dans l'industrie.

<u>Qu'est-ce que la CNC</u> (Commande Numérique par Calculateur)? Un système du genre CNC est muni d'un ordinateur. Tous les systèmes de perception et de travail sont reliés à cet ordinateur et c'est lui qui, à l'aide d'un programme dans sa mémoire, fournit la logique.

Pour comprendre la différence entre la CN à LC et la CNC (dit aussi CN à Logique Programmée), nous allons nous servir d'un exemple d'une machine à jus d'orange. Dans le but de simplifier la logique de l'exemple au maximum, on ne fait pas référence à la CN.

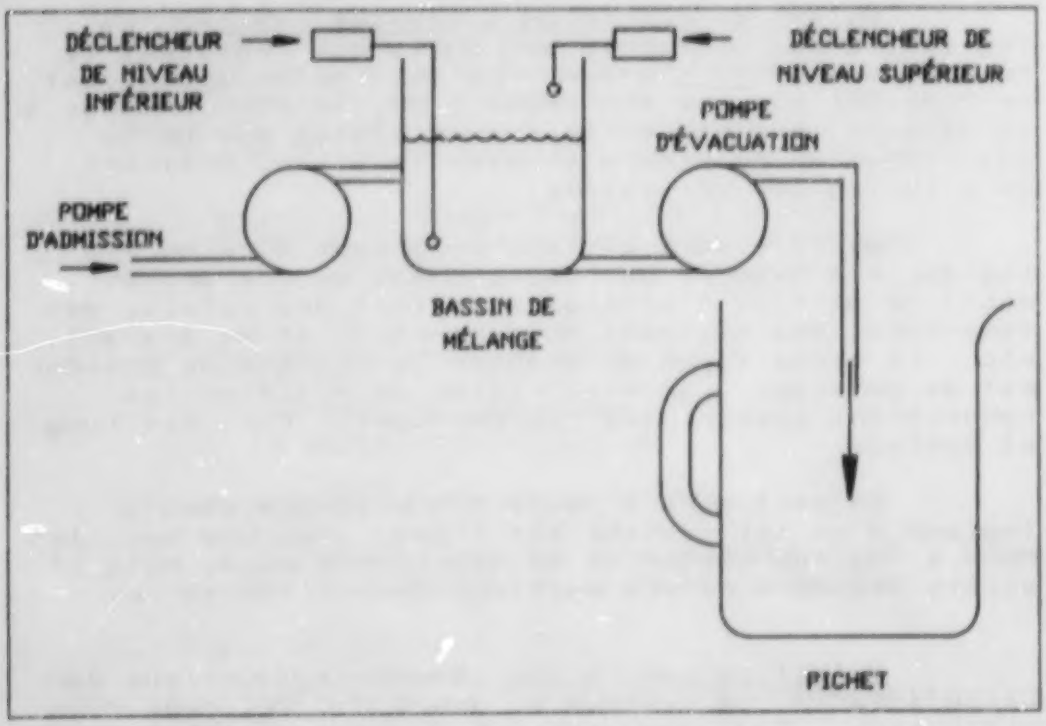


FIGURE 1.6 MACHINE À JUS D'ORANGE

LE PROBLÈME:

On veut obtenir une quantité bien précise de jus d'orange dans le pichet. De l'eau est introduite dans le bassin de mélange à laquelle un individu ajoute les cristaux d'orange. Il faut laisser le mélange se reposer 5 minutes dans le bassin de mélange pour que les cristaux soient bien dissous.

LE PROCÉDÉ:

1 - Une pompe d'admission est activée et le bassin de mélange se remplit d'eau.

2 - L'individu introduit les cristaux pendant que le bassin de mélange se remplit.

3 - Le niveau du mélange monte et actionne le déclencheur de niveau supérieur. Ceci désactive la pompe d'admission et met en marche une horloge qui comptera 5 minutes.

4 - Après les 5 minutes, la pompe d'évacuation est actionnée et le bassin de mélange se vide jusqu'à ce que le niveau du mélange actionne le déclencheur de niveau inférieur. (Le déclencheur de niveau inférieur sert à éviter l'admission d'air dans la pompe d'évacuation).

5 - À ce moment, la pompe d'évacuation est désactivée et le pichet contient alors une quantité de jus d'orange bien précise.

Les organes de travail sont:

- la pompe d'admission
- la pompe d'évacuation

Les organes de perception sont:

- le déclencheur de niveau supérieur
- le déclencheur de niveau inférieur

L'organe de logique est:

- l'horloge (elle n'est pas représentée sur la figure 1.6)

Avec un système à LC, il faut relier avec des fils électriques les 2 pompes, les 2 déclencheurs de niveau et l'horloge.

Si l'on décide d'accélérer le procédé en ajoutant un mélangeur (voir Figure 1.7) dans le bassin de mélange par exemple, ce qui donne un mélange uniforme en 2 minutes, au lieu de 5 minutes, il faut alors changer la logique en reliant des fils électriques entre le mélangeur et d'autres organes du système et en modifiant certaines connections existantes.

Cet exemple-ci est simple, mais pour un système plus complexe telle qu'une MOCN, le nombre de fils devient très grand et souvent, seul le constructeur se comprend parmi ce tas de fils et de relais.

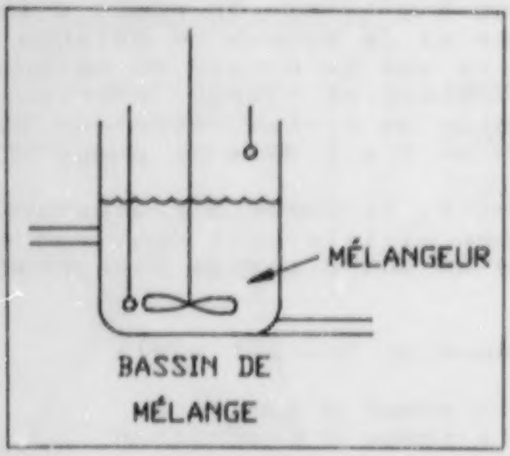


FIGURE 1.7

<u>Avec un système à logique programmée</u>, il faut relier les 2 pompes, c'est-à-dire les organes de travail, aux portes de sorties (output) de l'ordinateur. Il faut aussi relier les 2 déclencheurs de niveau, c'est-à-dire les organes de perception, aux portes d'entrées (input) de l'ordinateur (voir Figure 1.8). L'horloge n'est plus nécessaire puisque l'ordinateur sert lui-même d'horloge.

En plus de relier les organes aux portes de l'ordinateur, il faut introduire un programme dans l'ordinateur de la même façon qu'on programme un micro-ordinateur.

Si l'on ajoute un mélangeur pour accélérer le procédé, il faut alors établir une connection entre le mélangeur et une porte de sortie de l'ordinateur, ce qui ne fait qu'une seule connection supplémentaire. Si l'on veut changer la logique tout en gardant les mêmes organes, le programmeur peut très bien le faire sans toucher à un seul fil.

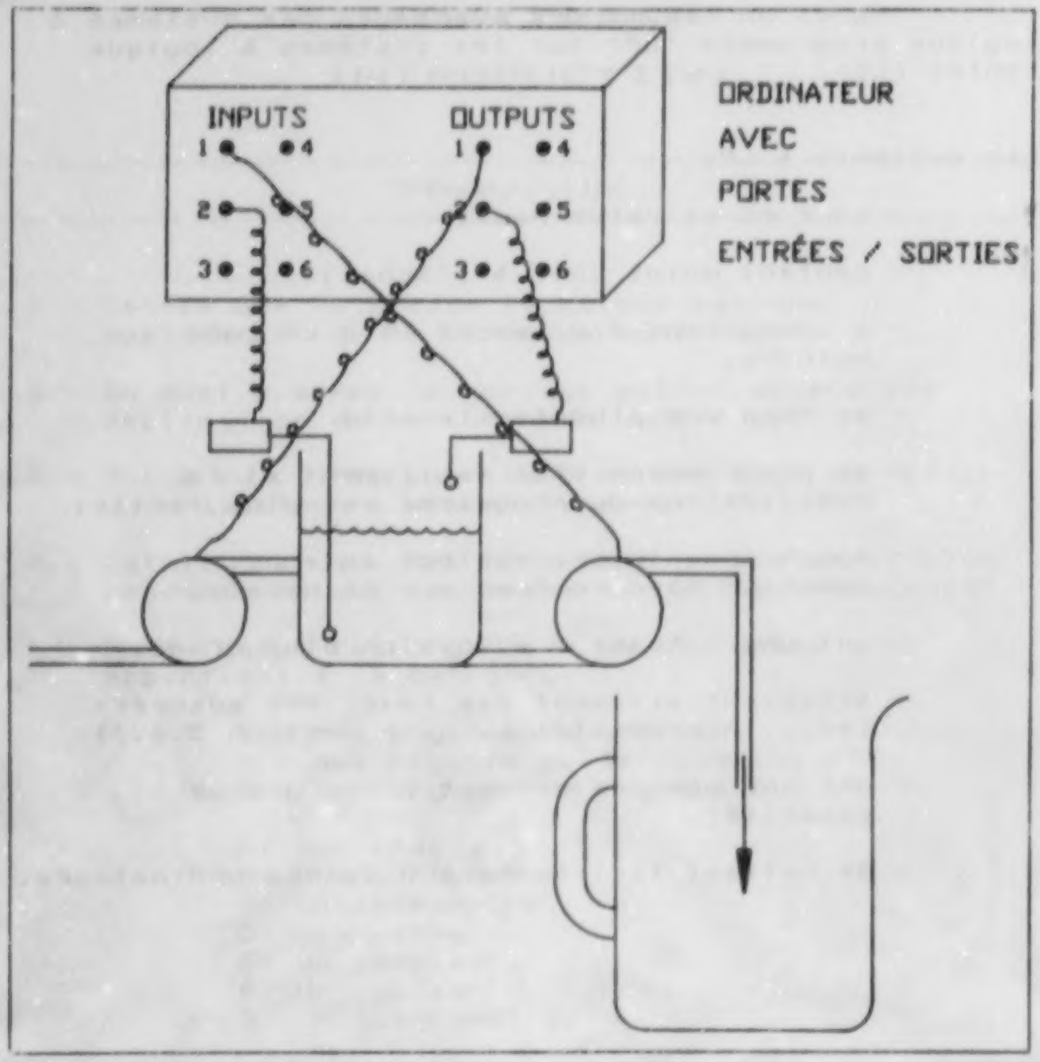


FIGURE 1.8

En réalité, les connections entre les portes entrée/sortie et les organes de travail et de perception ne sont pas directes. Il y a souvent des amplificateurs de courant qui permettent à partir d'un ordinateur générant 10 volts AC, par exemple, d'activer une pompe qui nécessite 220 volts AC.

Voici un résumé des avantages des systèmes à logique programmée (LP) sur les systèmes à logique câblée (LC).

Les systèmes à LP:

- sont moins volumineux;
- coûtent moins cher à l'achat;
- s'installent facilement et à un coût moindre;
- se réparent plus facilement;
- se programment plus facilement et la modification du programme est plus facile;
- fonctionnent sans horloge externe, compteur électromécanique et relais;
- ont une vitesse d'exécution plus grande;
- acceptent aisément des fonctions avancées (ex.: interpolations, voir Section 3.6.3);
- ont une mémoire souvent d'une grande capacité;
- se relient facilement à d'autres ordinateurs.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

TRAVAUX

---

1 - Est-ce que le dessin technique est une application de la commande numérique?

2 - En quelle année le soudage est-il devenu une application de la commande numérique?

3 - Qui a eu l'idée pour la première fois de relier un ordinateur à une machine-outil?

4 - Est-il vrai que les MOCN sont généralement plus productives que les machines-outils classiques?

5 - Pour chacun des organes A) à G), dites s'il appartient à la catégorie...

 1 - des organes de travail,
 2 - des organes de perception,
 3 - des organes de logique.

 A) Une pompe.
 B) Une horloge.
 C) Un tachymètre.
 D) Une valve.
 E) Un compteur.
 F) Un capteur de force.
 G) Un thermomètre.

6 - Laquelle des 3 composantes principales d'une MOCN est complètement modifiée lorsqu'on passe de la LC à la LP.

7 - Placez dans un ordre chronologique les événements suivants.

 A) La naissance de la CNC.
 B) L'affichage graphique.
 C) La naissance du APT.
 D) L'invention du piano mécanique.

Page 42-43-44 manquantes

LES OPÉRATEURS MATHÉMATIQUES

Les opérateurs utilisés en CN sont surtout:

+ pour l'addition,

- pour la soustraction,

* pour la multiplication,

/ pour la division.

A^X pour l'élévation à une puissance (A^3 = A*A*A).

N.B. 2^3 est dit "deux exposant trois".

RÈGLES D'ALGÈBRE

Vous rappelez-vous comment isoler la variable X dans l'équation suivante?

$$2Y = \sqrt{5X + 2} + 3$$

Pour ce faire, il faut se rappeler les règles d'algèbre suivantes.

A) On peut ajouter ou soustraire une quantité égale aux 2 membres d'une équation, soit au membre de gauche soit au membre de droite.

EXERCICE 2.1

Isolez la variable X dans l'équation.

$$X - 2 = Y$$

Solution:

$$X - 2 + 2 = Y + 2$$

$$X + 0 = Y + 2$$

$$\boxed{X = Y + 2}$$

B) On peut multiplier ou diviser les 2 membres d'une équation par une quantité égale.

EXERCICE 2.2

Isolez la variable X dans l'équation.

$$2 * X = Y$$

Solution:

$$\frac{2 * X}{2} = \frac{Y}{2}$$

$$1 * X = \frac{Y}{2}$$

$$\boxed{X = \frac{Y}{2}}$$

C) On peut <u>élever</u> au carré ou <u>extraire</u> la racine carrée des 2 membres d'une équation.

EXERCICE 2.3

Isolez la variable Y dans l'équation.

$$Y^2 = X$$

Solution:

$$\sqrt{Y^2} = \sqrt{X}$$

$$\boxed{Y = \pm\sqrt{X}}$$

EXERCICE 2.4

Isolez la variable Y dans l'équation.

$$\sqrt{Y} = X$$

Solution:

$$(\sqrt{Y})^2 = X^2$$

$$\boxed{Y = X^2}$$

b) Dans une expression mathématique, il y a une <u>priorité</u> à respecter entre les opérations.

Priorité no 1 Exposant

Priorité no 2 * et /

Priorité no 3 + et -

EXERCICE 2.5

Trouvez la valeur de B.

$$B = \frac{4}{2^2} + 3^2 * 2 + 1$$

Solution:

$B = \frac{4}{4} + 9 * 2 + 1$ exposant prioritaire

$B = 1 + 18 + 1$ * et / prioritaires sur + et -

$$\boxed{B = 20}$$

ATTENTION! les parenthèses (), les crochets [] et les accolades {} modifient l'ordre des priorités.

On peut maintenant résoudre le problème suivant.

EXERCICE 2.6

Isolez la variable X dans l'équation.

$$2Y = \sqrt{5X + 2} + 3$$

Solution:

$$2Y - 3 = \sqrt{5X + 2} + 3 - 3$$

$$2Y - 3 = \sqrt{5X + 2}$$

$$(2Y - 3)^2 = (\sqrt{5X + 2})^2$$

$$(2Y - 3)^2 = 5X + 2$$

$$(2Y - 3)^2 - 2 = 5X + 2 - 2$$

$$(2Y - 3)^2 - 2 = 5X$$

$$\frac{(2Y - 3)^2 - 2}{5} = \frac{5X}{5}$$

$$\boxed{\frac{(2Y - 3)^2 - 2}{5} = X}$$

Voici une liste d'équations algébriques utiles afin d'en arriver à isoler une variable dans une équation.

POLYNOMES:

$$(A \pm B)^2 = A^2 \pm 2AB + B^2$$

$$(A \pm B)^3 = A^3 \pm 3A^2B + 3AB^2 \pm B^3$$

$$A^2 - B^2 = (A - B)(A + B)$$

$$A^3 - B^3 = (A - B)(A^2 + AB + B^2)$$

$$A^3 + B^3 = (A + B)(A^2 - AB + B^2)$$

EXPOSANTS:

$$A^x * A^y = A^{(x+y)} \qquad A^0 = 1$$

$$\frac{A^x}{A^y} = A^{(x-y)} \qquad A^{-x} = \frac{1}{A^x}$$

$$(AB)^x = A^x * B^x \qquad (A^x)^y = A^{xy}$$

$$\left(\frac{A}{B}\right)^x = \frac{A^x}{B^x}$$

PROPORTIONNALITÉ:

Si $\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$ alors

$$\frac{A + B}{B} = \frac{C + D}{D}$$

$$\frac{A - B}{B} = \frac{C - D}{D}$$

$$\frac{A + B}{A - B} = \frac{C + D}{C - D}$$

TABLEAU 2.1

LA RÈGLE DE TROIS

Il est difficile de convertir par coeur 3.42 centimètres en pouces ou bien de convertir 8.62 pouces en millimètres.

Avec la règle de trois, on peut arriver à convertir des centimètres en pouces, des pouces en millimètres, etc.

EXERCICE 2.7

Prenons un exemple simple: 24 pouces correspond à combien de pieds, si nous savons que 1 pied = 12 pouces?

Solution:

Nous savons que 12 pouces = 1 pied

alors 24 pouces = X pieds

Combien vaut X?

$$\frac{12\ po}{24\ po} = \frac{1\ pi}{X\ pi}$$

$$\frac{12}{24} = \frac{1}{X}$$

multiplication par X des 2 côtés:

$$X * \frac{12}{24} = \frac{1 * X}{X}$$

$$X * \frac{12}{24} = 1$$

multiplication par 24/12 des 2 côtés:

$$X * \frac{12}{24} * \frac{24}{12} = 1 * \frac{24}{12}$$

$$X = \frac{24}{12} = 2$$

Donc 24 pouces = 2 pieds

EXERCICE 2.8

Prenons un autre exemple: 36 pouces correspond à combien de pieds, si nous savons que 1 pied = 12 pouces?

Solution:

Nous savons que 12 pouces = 1 pied

alors 36 pouces = X pieds

Combien vaut X?

$$\frac{12\ po}{36\ po} = \frac{1\ pi}{X\ pi}$$

$$\frac{12}{36} = \frac{1}{X}$$

$$X = \frac{36}{12} = 3$$

Donc 36 pouces = 3 pieds

EXERCICE 2.9

Prenons un autre exemple: 7.2 milles correspond à combien de kilomètres, si nous savons que 1 mille = 1.609 kilomètre?

Solution:

Nous savons que 1 mille = 1.609 kilomètre

alors 7.2 milles = X kilomètres

Combien vaut X?

$$\frac{1\ mille}{7.2\ milles} = \frac{1.609\ km}{X\ \ km}$$

$$\frac{1}{7.2} = \frac{1.609}{X}$$

$$X = \frac{1.609 * 7.2}{1} = 11.585$$

Donc 7.2 milles = 11.585 kilomètres

EXERCICE 2.10

Prenons un dernier exemple: 3 mètres correspond à combien de pouces, si nous savons que 100 centimètres = 1 mètre et que 1 centimètre = .3937 pouce?

Solution:

Nous savons que 1 mètre = 100 centimètres

alors 3 mètres = X centimètres

Combien vaut X?

$$\frac{1}{3} = \frac{100}{X}$$

$$X = \frac{100 * 3}{1} = 300$$

Donc 3 mètres = 300 centimètres

Je reformule le problème. 300 centimètres correspond à combien de pouces, si nous savons que 1 centimètre = .3937 pouce?

Nous savons que 1 centimètre = .3937 pouce

alors 300 centimètres = X pouce

Combien vaut X?

$$\frac{1}{300} = \frac{.3937}{X}$$

$$X = \frac{.3937 * 300}{1} = 118.11$$

Donc 300 centimètres = 118.11 pouces

Donc 3 mètres = 118.11 pouces

Voici une table de conversion qui contient les principales unités de longueur utilisées en CN.

SYSTÈME MÉTRIQUE:

1 millimètre	=	0.001	mètre
1 millimètre	=	0.0393701	pouce
1 centimètre	=	0.01	mètre
1 centimètre	=	0.393701	pouce
1 centimètre	=	0.0328084	pied
1 mètre	=	1000.0	millimètres
1 mètre	=	100.0	centimètres
1 mètre	=	39.37008	pouces
1 mètre	=	3.28084	pieds

SYSTÈME ANGLAIS:

1 pouce	=	25.4	millimètres
1 pouce	=	2.54	centimètres
1 pouce	=	0.0833333	pied
1 pied	=	30.48	centimètres
1 pied	=	0.3048	mètre
1 pied	=	12.0	pouces

TABLEAU 2.2

2.3 GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE

2.3.1 DÉFINITION D'UN AXE

Une notion importante qu'il faudra bien comprendre avant de se lancer dans l'exploitation d'une MOCN est son repère de coordonnées qui est défini par un certain nombre d'axes.

On peut comprendre facilement qu'un opérateur qui désire qu'une fraiseuse à CN perce un trou en faisant descendre le foret de 50 millimètres dans la pièce ne voudra pas que le foret soit déplacé de 50 millimètres vers la gauche, ou bien de 50 millimètres vers le haut, mais bien de 50 millimètres vers le bas. La direction que prendra l'outil par rapport à la pièce sera la bonne si l'opérateur et la MOCN utilisent un repère commun.

QU'EST-CE QU'UN AXE?

Un axe est une droite sur laquelle a été choisi un sens particulier.

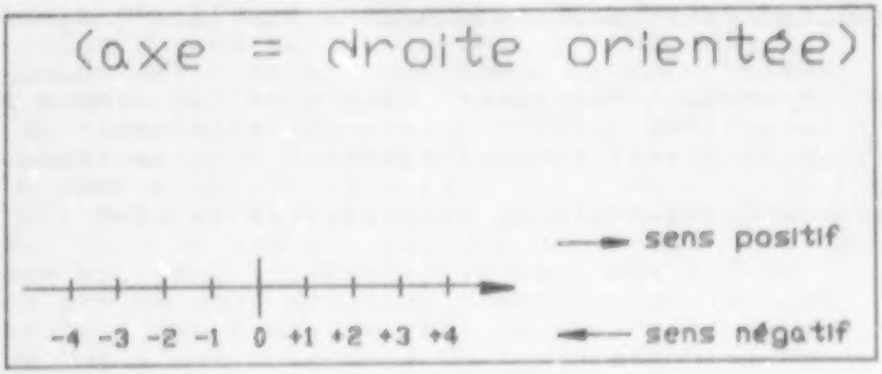


FIGURE 2.1

QU'EST-CE QUE CELA VEUT DIRE?

Nous avons tous entendu parler des droites en mathématiques. Imaginons une droite qui passe par le plancher et qui monte verticalement au plafond. Si l'on décide que cette droite est orientée vers le plafond, on vient alors de donner un sens à cette droite. On vient alors de définir un axe avec son sens positif et négatif.

Le _sens positif_ de l'axe est le sens par lequel est orienté cette droite, donc vers le plafond dans cet exemple-ci.

Le _sens négatif_ est le sens contraire au sens par lequel est orienté cette droite, donc vers le plancher dans ce cas-ci.

Si un objet est à +50 centimètres (cm) au-dessus du plancher et qu'on le déplace de +20 centimètres selon l'axe défini précédemment, l'objet se retrouvera à +70 centimètres au-dessus du plancher.

Si un objet est à +50 centimètres au-dessus du plancher et qu'on le déplace de -20 centimètres selon l'axe défini précédemment, ou bien de 20 centimètres selon le sens contraire à l'axe en question, il se retrouvera à +30 centimètres au-dessus du plancher.

2.3.2 SYSTÈME CARTÉSIEN DE COORDONNÉES

Système cartésien de coordonnées à 2 axes (le plan)

Examinons maintenant la figure 2.2. Nous y voyons un système de coordonnées cartésiennes constitué de 2 axes perpendiculaires (qui se croisent à angle droit), soit les axes X et Y. On a donc 2 droites sur lesquelles un sens particulier fut choisi.

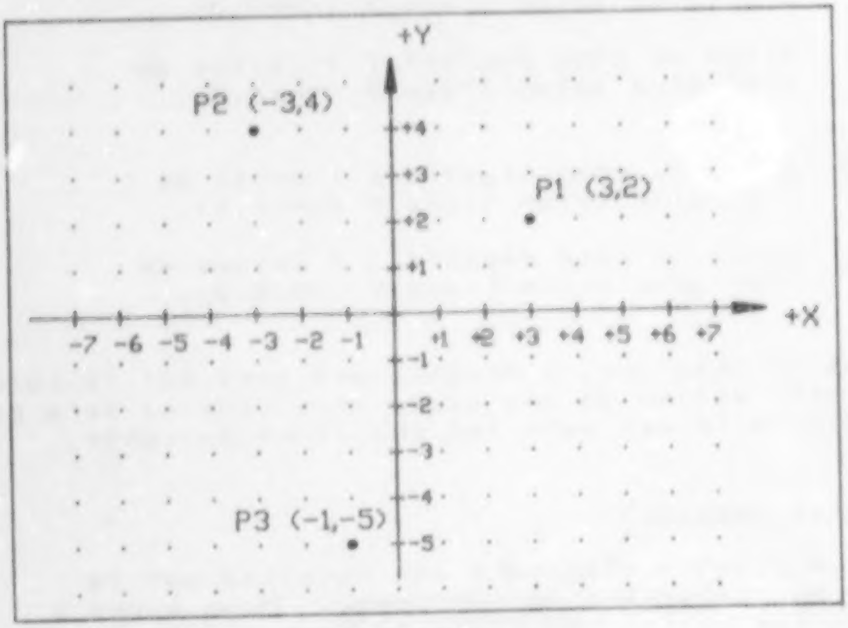


FIGURE 2.2

La flèche sur chaque axe indique le sens de l'axe. Ces 2 axes qui se coupent et qui sont orthogonaux définissent le système de coordonnées. On peut à l'aide de ces 2 axes, situer les points P1, P2 et P3 ou tout autre point dans le plan X-Y, mais il faut, pour ce faire, connaître l'origine des axes.

L'origine est le point d'intersection des axes X et Y. Dans ce cas-ci, puisque sur l'axe X le sens de l'axe est vers la droite, le côté positif de l'axe X est du côté droit de l'origine et le côté négatif de l'axe X est du côté gauche de l'origine. Puisque sur l'axe Y le sens de l'axe est vers le haut, le côté positif de l'axe Y est du côté supérieur à l'origine et le côté négatif de l'axe Y est du côté inférieur à l'origine.

On peut localiser les points P1, P2 et P3 en spécifiant la distance entre les points et l'origine selon les axes X et Y.

Point P1 Situé du côté positif à 3 unités de l'origine selon l'axe X (X=+3.0).

Situé du côté positif à 2 unités de l'origine selon l'axe Y (Y=+2.0).

Point P2 Situé du côté négatif à 3 unités de l'origine selon l'axe X (X=-3.0).

Situé du côté positif à 4 unités de l'origine selon l'axe Y (Y=+4.0).

Point P3 Situé du côté négatif à 1 unité de l'origine selon l'axe X (X=-1.0).

Situé du côté négatif à 5 unités de l'origine selon l'axe Y (Y=-5.0).

N.B. Dans ce chapitre, l'origine des axes est le point d'intersection de ces axes, mais ceci ne sera pas toujours le cas dans les chapitres suivants.

<u>Coordonnées absolues</u>

Le point à atteindre est localisé par la <u>distance qui le sépare de l'origine</u>. Nous avons à localiser les points P1, P2 et P3 pour percer 3 trous dans une plaque fixée sur la table de la MOCN (voir Figure 2.3 et 2.4). En coordonnées absolues, la section de programme pièce pourrait être la suivante. (Le symbole O représente l'origine.)

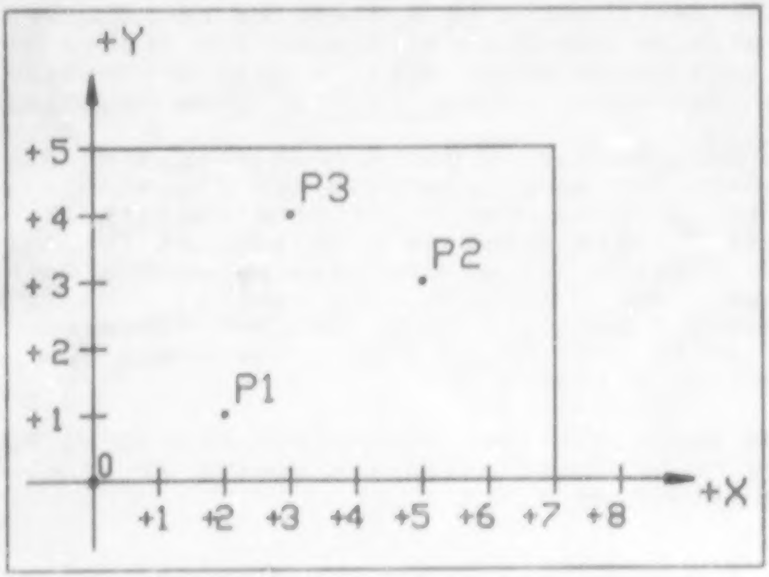


FIGURE 2.3

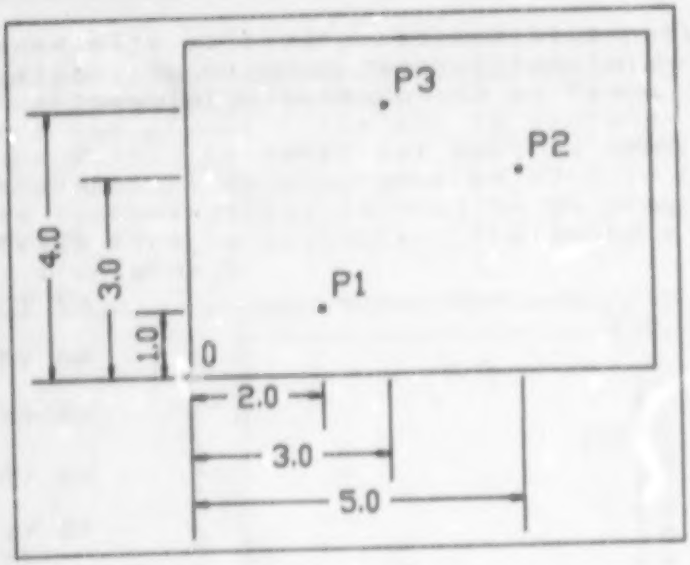


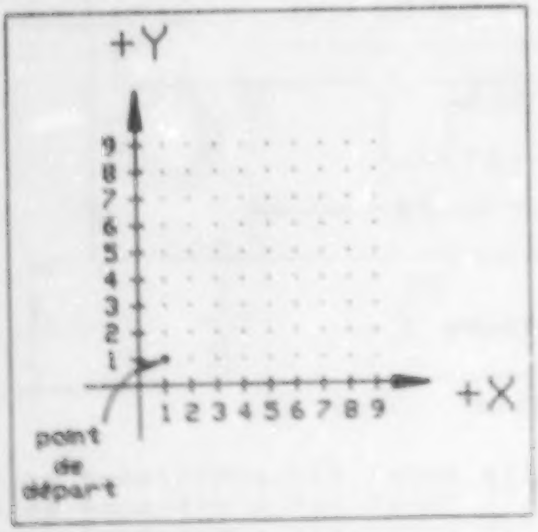
FIGURE 2.4

```
  :
  :
N1030 X2.0 Y1.0    (le foret est positionné en P1)
N1040 X5.0 Y3.0    (le foret est positionné en P2)
N1050 X3.0 Y4.0    (le foret est positionné en P3)
  :
  :
```

Avec ce genre de programmation, l'instruction de positionnement est <u>indépendante</u> de l'instruction précédente. Que le foret soit positionné en X0.0 Y0.0 ou bien en X7.0 Y5.0 au départ du programme, l'instruction d'adresse 1030 commandera un déplacement de la broche jusqu'à la position X2.0 Y1.0.

EXERCICE 2.11

Exécutez le trajet suivant en utilisant votre crayon pour simuler les déplacements de l'outil. La programmation est en coordonnées absolues.



X1 Y8
X2 Y8
X2 Y5
X4 Y5
X4 Y8
X5 Y8
X5 Y1
X4 Y1
X4 Y4
X2 Y4
X2 Y1
X1 Y1

FIGURE 2.5

Solution:

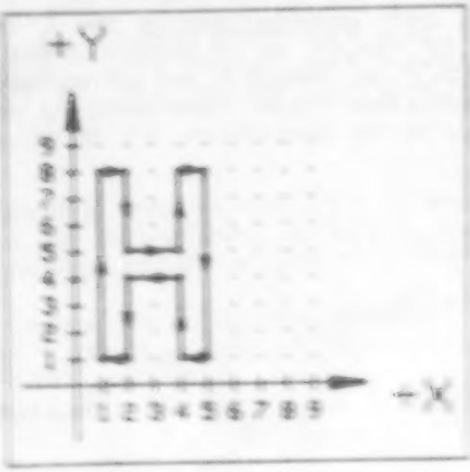


FIGURE 2.6

<u>Coordonnées incrémentales</u>

Le point à atteindre est localisé par la <u>distance qui le sépare du point précédent</u>. Nous avons à localiser les points P1, P2 et P3 pour percer 3 trous dans une plaque fixée sur la table de la MOCN (voir Figure 2.7). Le foret est dans la broche et est positionné au départ du programme en X0.0 Y0.0. En coordonnées incrémentales, la section de programme pièce pourrait être la suivante. (Le symbole O représente l'origine.)

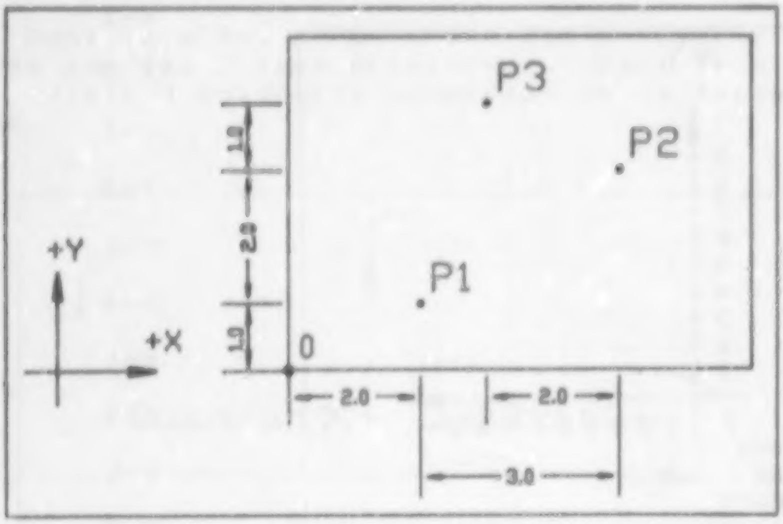


FIGURE 2.7

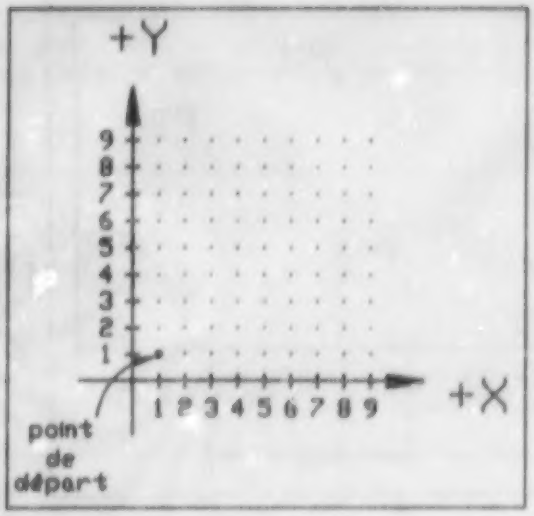
```
    :
    :
N1120 X2.0 Y1.0    (le foret est positionné en P1)
N1130 X3.0 Y2.0    (le foret est positionné en P2)
N1140 X-2.0 Y1.0   (le foret est positionné en P3)
    :
    :
```

On remarquera que seuls les signes - apparaissent dans le programme pièce. Les valeurs sont positives lorsqu'aucun signe n'apparaît.

Avec ce genre de programmation, l'instruction de positionnement est <u>dépendante</u> de l'instruction précédente. L'instruction d'adresse 1120 a positionné le foret en P1 puisque le foret se trouvait au départ du programme en X0.0 Y0.0. Si la position de départ du foret était X1.0 Y3.0, alors l'instruction d'adresse 1120 aurait positionné le foret en X3.0 Y4.0 au lieu de X2.0 Y1.0.

EXERCICE 2.12

Exécutez le trajet suivant en utilisant votre crayon pour simuler les déplacements de l'outil. La programmation est en coordonnées incrémentales.



Y5

X4

Y-1

X-3

Y-1

X+3

Y-1

X-3

Y-1

X+3

Y-1

X-4

FIGURE 2.8

Solution:

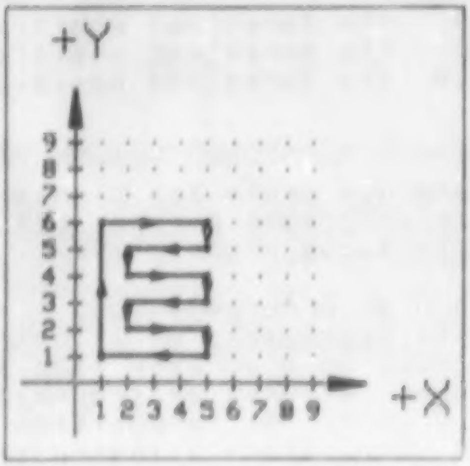


FIGURE 2.9

En <u>programmation absolue</u>, X2.0 veut dire "Machine, positionne le foret à 2.0 millimètres de l'origine selon l'axe X".

En <u>programmation incrémentale</u>, X2.0 (en système métrique) veut dire "Machine, positionne le foret à 2.0 millimètres (mm) de l'endroit où il se trouve présentement selon l'axe X".

Les quadrants

Dans le plan, un quadrant est une surface délimitée par les 2 axes principaux. Dans le plan X-Y, il existe 4 quadrants numérotés de la façon suivante.

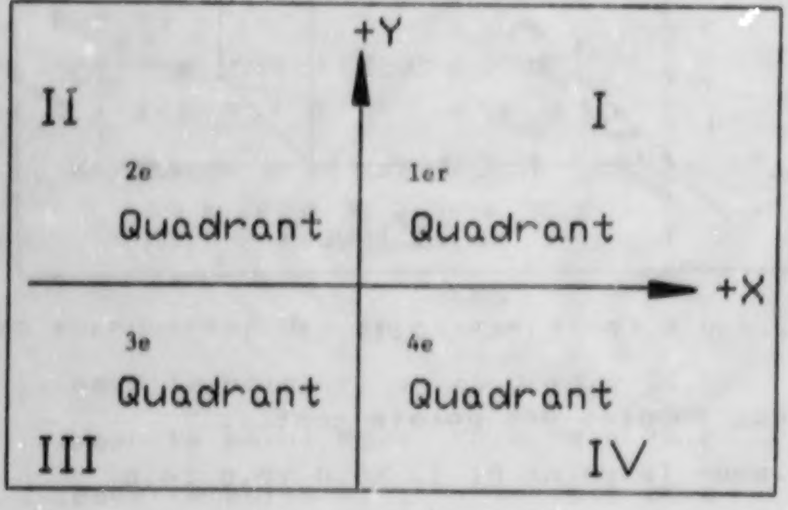


FIGURE 2.10

Système cartésien de coordonnées à 3 axes (l'espace)

Jusqu'à maintenant, nous avons travaillé avec un système de coordonnées à 2 axes (planaire). Un axe orienté vers la droite et un axe orienté vers le haut de la feuille. Mais comment fera-t-on pour définir les coordonnées d'un point qui est situé 10 centimètres en dessous de la table sur laquelle est déposée la feuille?... Un système de coordonnées à 3 axes peut remédier à ce problème.

Les 2 premiers axes sont similaires à un système à 2 axes et le 3e axe est défini perpendiculairement aux 2 autres, donc orienté vers le plafond ou vers le plancher. Avec 2 axes, on peut situer un point dans le plan et, avec 3 axes, on peut situer un point dans l'espace.

Nous avons un bloc sur lequel nous voulons localiser les points P1, P2 et P3. Nous utilisons le système de coordonnées absolues.

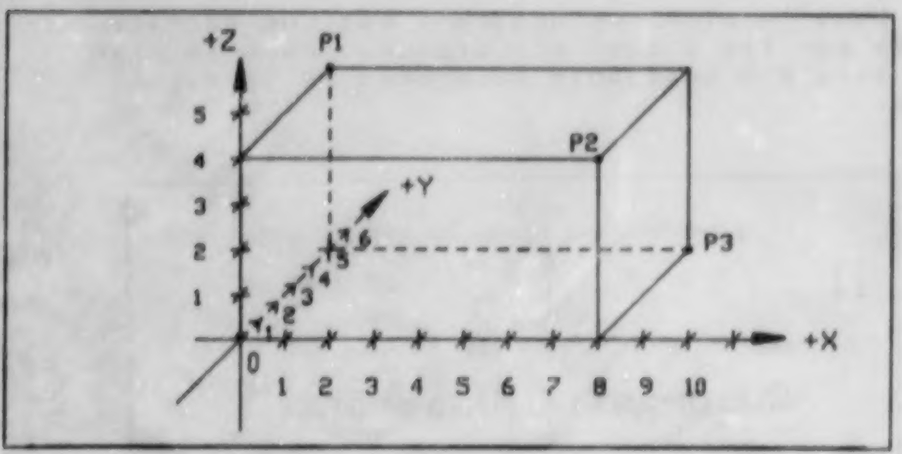


FIGURE 2.11

Les coordonnées des points sont...

...pour le point P1 ; X0.0 Y5.0 Z4.0

...pour le point P2 ; X8.0 Y0.0 Z4.0

...pour le point P3 ; X8.0 Y5.0 Z0.0

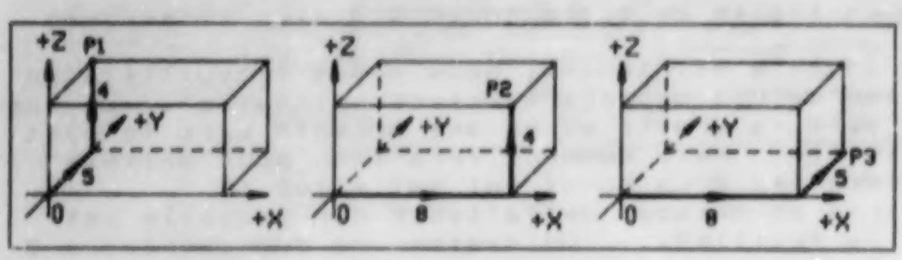


FIGURE 2.12

Dans l'exemple précédent, l'axe X est orienté vers la droite, l'axe Y est orienté vers l'arrière et l'axe Z est orienté vers le haut. Lorsqu'on mentionne "vers l'arrière", il faut comprendre "en s'éloignant du lecteur". Ceci n'est pas la seule façon de définir les axes. On pourrait les définir de la façon suivante.

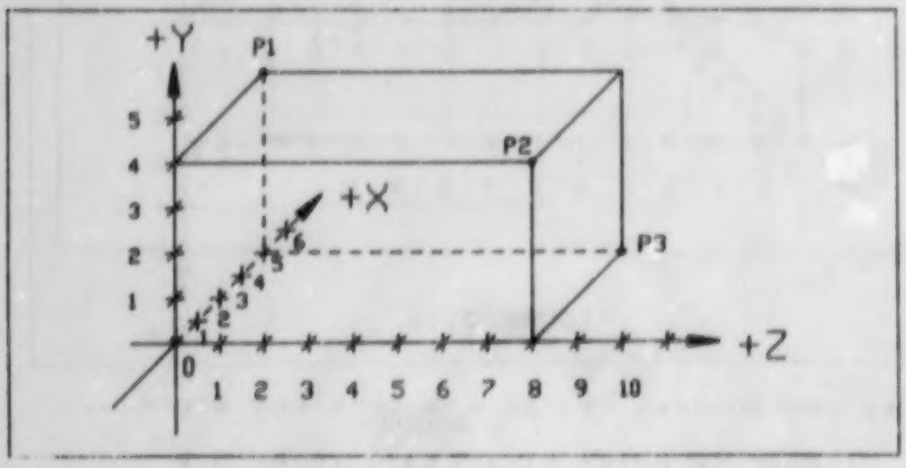


FIGURE 2.13

Les coordonnées des points seraient alors...

...pour le point P1 ; X5.0 Y4.0 Z0.0

...pour le point P2 ; X0.0 Y4.0 Z8.0

...pour le point P3 ; X5.0 Y0.0 Z8.0

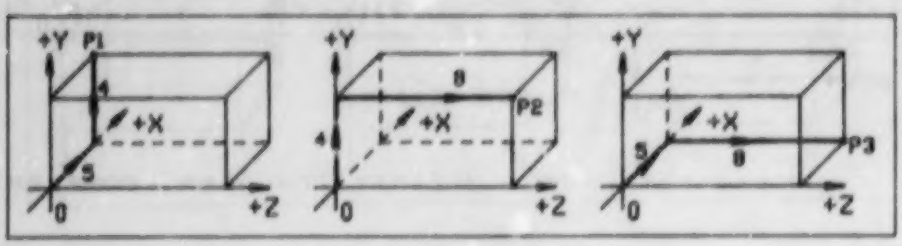


FIGURE 2.14

On pourrait aussi définir les axes de la façon suivante.

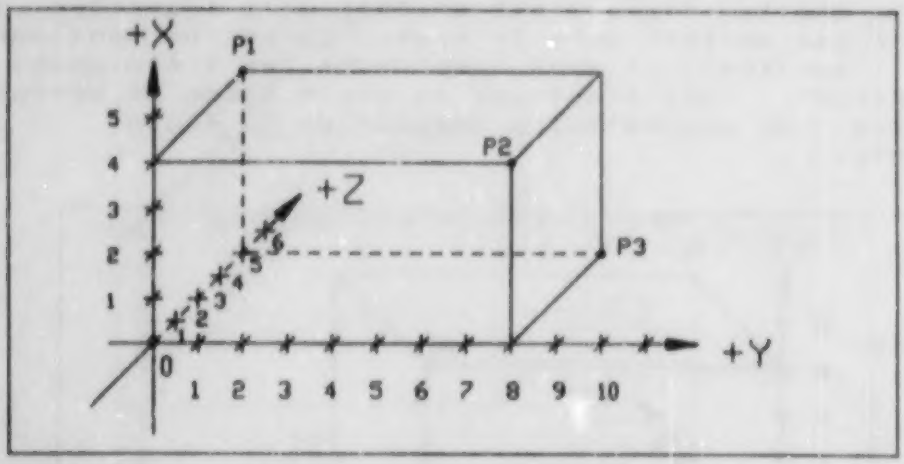


FIGURE 2.15

Les coordonnées des points seraient alors...

...pour le point P1 ; X4.0 Y0.0 Z5.0

...pour le point P2 ; X4.0 Y8.0 Z0.0

...pour le point P3 ; X0.0 Y8.0 Z5.0

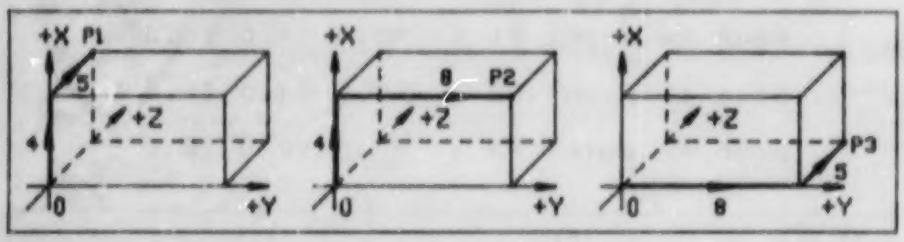


FIGURE 2.16

On pourrait aussi définir les axes comme suit:

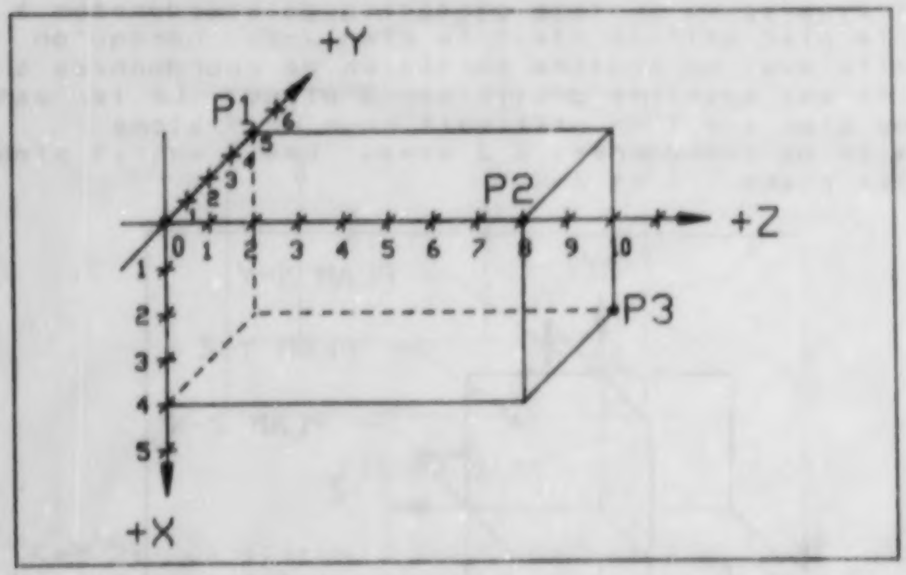


FIGURE 2.17

Les coordonnées des points seraient alors...

...pour le point P1 : X0.0 Y5.0 Z0.0

...pour le point P2 : X0.0 Y0.0 Z8.0

...pour le point P3 ; X4.0 Y5.0 Z8.0

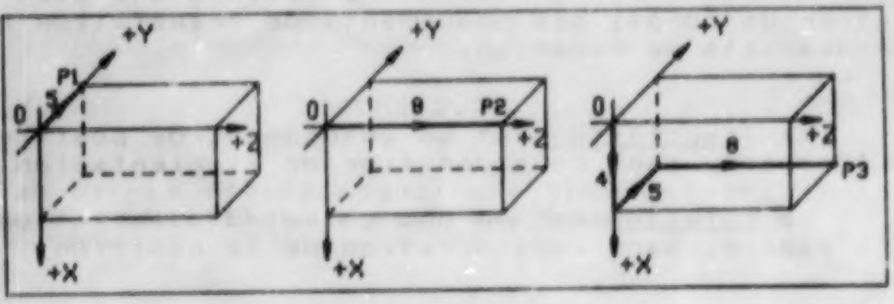


FIGURE 2.18

Qu'est-ce qu'il y a de changé dans ce dernier exemple par rapport aux exemples précédents?... C'est que l'origine des 3 axes n'est plus située au même endroit.

Lorsque l'on travaillait, au début de ce chapitre, avec un système cartésien de coordonnées à 2 axes, le plan utilisé était le plan X-Y. Lorsqu'on travaille avec un système cartésien de coordonnées à 3 axes, il est possible d'utiliser 3 plans. Le 1er est le même plan que l'on utilisait pour un système cartésien de coordonnées à 2 axes. Les 2 autres plans sont les plans Y-Z et Z-X.

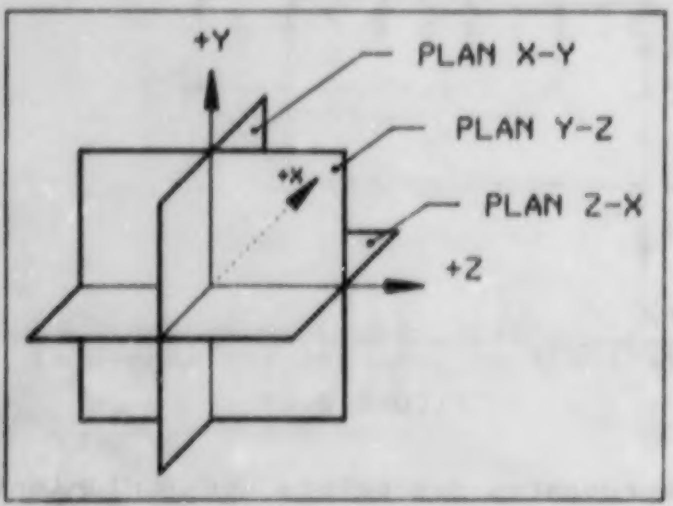


FIGURE 2.19

Les mouvements de translation et de rotation

Il y a 2 catégories de mouvements que peut effectuer un corps; des mouvements de translation et des mouvements de rotation.

La translation est un changement de position dans l'espace, sans considération de l'orientation.

La rotation est un changement d'orientation dans l'espace, sans considération de la position.

Exemple: Une flèche située dans un système cartésien va nous aider à comprendre les mouvements de translation et de rotation. La flèche en pointillé représente la position de la flèche avant le mouvement. La flèche en trait continu représente la position de la flèche après le mouvement.

Cas 1: La flèche a subi une translation.
La flèche n'a pas subi de rotation.

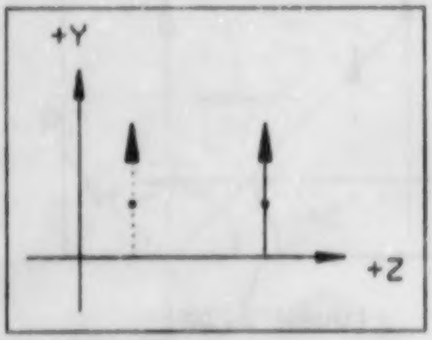


FIGURE 2.20

Cas 2: La flèche a subi une rotation.
La flèche n'a pas subi de translation.

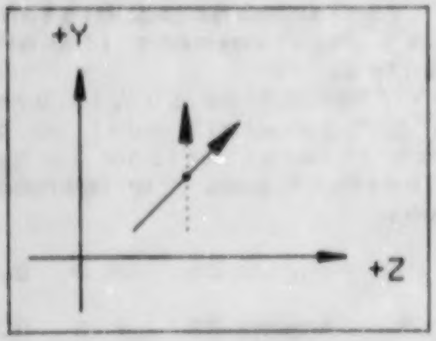


FIGURE 2.21

Cas 3: La flèche a subi une translation.
La flèche a subi une rotation.

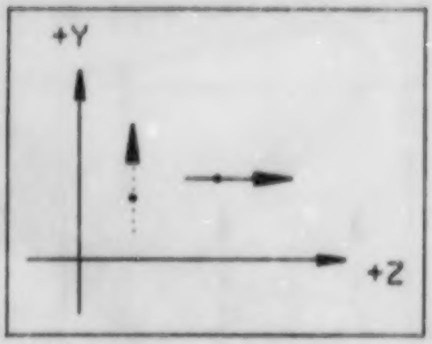


FIGURE 2.22

2.3.3 SYSTÈME DE COORDONNÉES POLAIRES

Il est possible de situer un point dans un plan en spécifiant premièrement la distance entre ce point et l'origine et deuxièmement l'angle formé par les 2 droites suivantes:

- l'axe X,
- la droite passant par l'origine et le point en question.

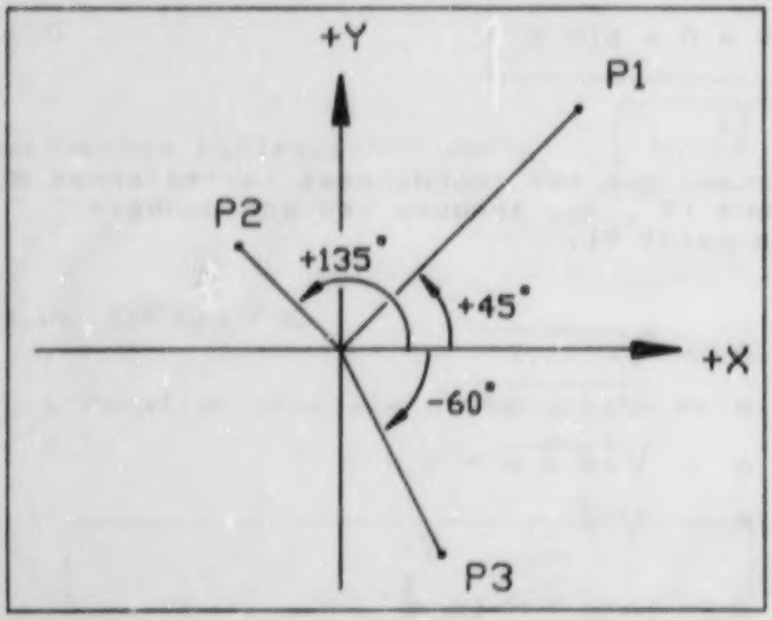


FIGURE 2.23

Les points P1, P2 et P3 sont repérables dans le plan à l'aide de leur distance à l'origine et de l'angle formé par la droite passant par l'origine et le point, par rapport à l'axe X.

Point P1	R = 5.0	θ = 45 degrés	P1 (5.0 , 45)
Point P2	R = 2.0	θ = 135 degrés	P2 (2.0 , 135)
Point P3	R = 2.5	θ = -60 degrés	P3 (2.5 , -60)

Connaissant les coordonnées cartésiennes d'un point, on peut calculer ses coordonnées polaires à l'aide des formules suivantes:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\theta = \text{ARC TAN } (Y/X)$$

Connaissant les coordonnées polaires d'un point, on peut calculer ses coordonnées cartésiennes à l'aide des formules suivantes:

$$X = R * \cos \theta$$
$$Y = R * \sin \theta$$

EXERCICE 2.13

Sachant que les coordonnées cartésiennes du point P1 sont (8 , 3), trouvez les coordonnées polaires du point P1.

Solution:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$
$$R = \sqrt{8^2 + 3^2}$$
$$R = \sqrt{64 + 9}$$
$$R = \sqrt{73}$$

$$\theta = \text{ARC TAN } (Y/X)$$
$$\theta = \text{ARC TAN } (3/8)$$
$$\theta = 20.56°$$

Les coordonnées polaires sont: P1 ($\sqrt{73}$, 20.56)

EXERCICE 2.14

Sachant que les coordonnées polaires du point P1 sont ($\sqrt{73}$, 20.56), trouvez les coordonnées cartésiennes du point P1.

Solution:

$$X = R \cos \theta$$
$$X = \sqrt{73} \cos (20.56°)$$
$$X = 8.544 * .9363$$
$$X = 8.0$$

$$Y = R \sin \theta$$
$$Y = \sqrt{73} \sin (20.56°)$$

Y = 8.544 * .3512

Y = 3.0

Les coordonnées cartésiennes sont: **P1 (8 , 3)**

2.3.4 LA DROITE

L'équation générale d'une droite est...

Y = m * X + b

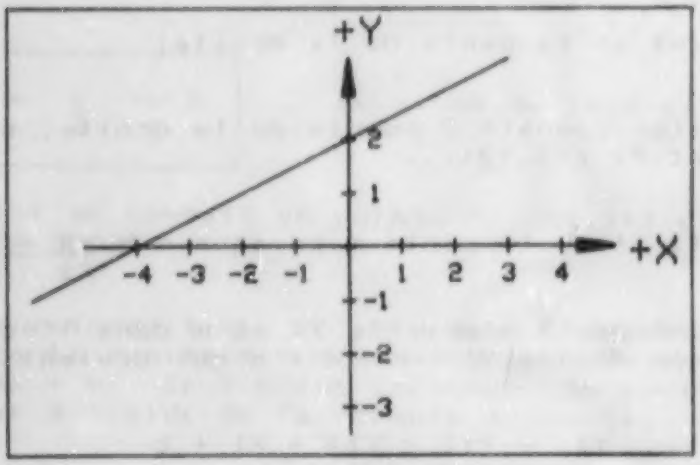


FIGURE 2.24

m est la pente de la droite = 1/2

b est l'ordonnée à l'origine = 2

À la figure précédente, l'abscisse est sur l'axe X puisque l'axe X est horizontal. L'ordonnée est sur l'axe Y puisque l'axe Y est vertical.

L'équation de cette droite est donc:

Y = 1/2 * X + 2

X	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Y	0	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4

Pour chaque valeur de X, on peut faire correspondre une valeur de Y et réciproquement, pour chaque valeur de Y, on peut faire correspondre une valeur de X.

On peut trouver l'équation d'une droite si l'on connaît soit:

- 2 points de la droite.

OU

- 1 point et la pente de la droite.

Si l'on connaît 2 points de la droite, soit P1 (X1,Y1) et P2 (X2,Y2)...

On connaît alors la pente m puisque $m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$

On introduit alors X1, Y1 et m dans l'équation générale de la droite Y = m * X + b qui devient alors

$$Y1 = \frac{(Y2 - Y1)}{(X2 - X1)} * X1 + b$$

Seul b est inconnu. On peut alors le calculer à l'aide de la formule suivante:

$$b = Y1 - \frac{(Y2 - Y1)}{(X2 - X1)} * X1$$

EXERCICE 2.15

Trouvez l'équation de la droite passant par les points P1 (-2 , 1) et P2 (2 , 3).

Solution:

$$Y = m * X + b$$

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} = \frac{3 - 1}{2 - (-2)} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = \text{pente}$$

$$Y = \frac{X}{2} + b$$

de P1 (-2 , 1)

$$1 = \frac{-2}{2} + b$$

$$1 = -1 + b$$

$$1 + 1 = -1 + b + 1$$

$$2 = b$$

$$\boxed{Y = \frac{X}{2} + 2}$$ équation de la droite

Si l'on connaît un point, P1 (X1,Y1) et la pente de la droite...

On introduit X1, Y1 et m dans l'équation générale de la droite Y = m * X + b qui devient alors Y1 = m * X1 + b. Seul b est inconnu. On peut alors le calculer à l'aide de la formule suivante:

$$b = Y1 - m * X1$$

EXERCICE 2.16

Trouvez l'équation de la droite passant par le point P1 (4 , 4) et dont la pente est 2.

Solution:

$$Y = mX + b$$

$$Y = 2X + b$$

de P1 (4 , 4)

$$4 = 2 * 4 + b$$

$$4 = 8 + b$$

$$4 - 8 = 8 + b - 8$$

$$-4 = b$$

$Y = 2X - 4$	équation de la droite

On peut retrouver l'équation d'une droite sous une autre forme que Y = m * X + b soit la forme...

$$A * X + B * Y + C = 0$$

La pente est alors $-A / B$

L'ordonnée à l'origine est $-C / B$

L'abscisse à l'origine est $-C / A$

EXERCICE 2.17

Trouvez le point d'intersection P1 des 2 droites suivantes.

Équation A. $X - 2Y + 4 = 0$

Équation B. $2X - Y - 1 = 0$

Solution:

De l'équation (A) $X = -4 + 2Y$

De l'équation (B) $2X = Y + 1$

(C) $X = \frac{Y}{2} + \frac{1}{2}$

De (A) et (C) $X = -4 + 2Y = \frac{Y}{2} + \frac{1}{2}$

$$-4 + 2Y - \frac{Y}{2} = \frac{Y}{2} + \frac{1}{2} - \frac{Y}{2}$$

$$-4 + \frac{3Y}{2} = \frac{1}{2}$$

$$-4 + 4 + \frac{3Y}{2} = \frac{1}{2} + 4$$

$$\frac{3Y}{2} = \frac{9}{2}$$

$$2 * \frac{3Y}{2} = \frac{9}{2} * 2$$

$$3Y = 9$$

$$Y = \frac{9}{3}$$

$$Y = 3$$

De (C) $$X = \frac{Y}{2} + \frac{1}{2}$$

$$X = \frac{3}{2} + \frac{1}{2}$$

$$X = 2$$

Le point d'intersection des 2 droites est donc:

P1 (2 , 3)

N.B. Lorsque 2 droites sont perpendiculaires, le produit de la pente de la 1re droite et de la pente de la 2e droite vaut -1. Les 2 droites suivantes sont perpendiculaires puisque le produit des 2 pentes vaut -1.

1re droite $Y = 5 * X - 12$

2e droite $Y = -0.2 * X + 11.145$

Le produit des 2 pentes vaut -1 puisque:

$5 * (-0.2) = -1$

2.3.5 LE CERCLE ET LES AUTRES FIGURES GÉOMÉTRIQUES

Voici l'équation générale du cercle.

$$(X - H)^2 + (Y - K)^2 = R^2$$

R = le rayon du cercle

H = la coordonnée en X du centre du cercle

K = la coordonnée en Y du centre du cercle

En connaissant la valeur de R, H et K pour un cercle en particulier, on peut trouver l'équation de ce cercle.

Voici une autre forme de l'équation générale du cercle.

$$X^2 + Y^2 + A * X + B * Y + C = 0$$

La relation suivante existe entre les 2 formes de l'équation générale du cercle:

$A = -2 * H$ $\quad$ $H = -A / 2$

$B = -2 * K$ $\quad$ $K = -B / 2$

$C = H^2 + K^2 - R^2$ $\quad$ $R = \sqrt{\frac{A}{4}^2 + \frac{B}{4}^2 - C}$

Connaissant 3 points non alignés et appartenant à un cercle, on peut trouver l'équation de ce cercle.

EXERCICE 2.18

Trouvez l'équation du cercle qui passe par les 3 points suivants: P1 (2 , 2), P2 (7 , -3) et P3 (6 , 0).

Solution:

Équation générale $X^2 + Y^2 + AX + BY + C = 0$

De P1: 4 + 4 + A * 2 + B * 2 + C = 0

(A) 2A + 2B + C + 8 = 0

De P2: 49 + 9 + A * 7 + B * (-3) + C = 0

(B) 7A - 3B + C + 58 = 0

De P3: 36 + 0 + A * 6 + B * 0 + C = 0

6A + C + 36 = 0

(C) C = -36 - 6A

De (A) et (C) 2A + 2B + (-36 - 6A) + 8 = 0

(D) -4A + 2B - 28 = 0

De (B) et (C) 7A - 3B + (-36 - 6A) + 58 = 0

(E) A - 3B + 22 = 0

(F) A = 3B - 22

De (F) et (D) -4(3B - 22) + 2B - 28 = 0

-12B + 88 + 2B - 28 = 0

-10B + 60 = 0

-10B = -60

(G) $B = \frac{60}{10} = 6$

De (F) et (G) A = 3 * 6 - 22

(H) A = -4

De (C) et (H) C = -36 - 6 * (-4)

C = -36 + 24

C = -12

$X^2 + Y^2 - 4X + 6Y - 12 = 0$	équation du cercle

On peut transformer cette équation sous la forme:

$$(X - H)^2 + (Y - K)^2 = R^2$$

$$H = -A/2 = -(-4)/2 = 2$$

$$K = -B/2 = -(6)/2 = -3$$

$$R = \sqrt{\frac{A^2}{4} + \frac{B^2}{4} - C} = \sqrt{\frac{(-4)^2}{4} + \frac{6^2}{4} - (-12)}$$

$$R = \sqrt{\frac{16}{4} + \frac{36}{4} + 12} = \sqrt{25}$$

$$R = 5$$

$$\boxed{(X - 2)^2 + (Y + 3)^2 = 25}$$ équation du cercle

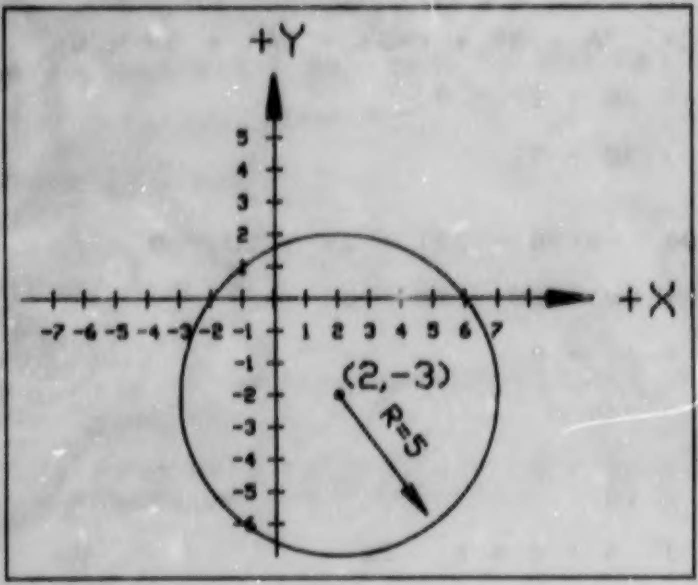


FIGURE 2.25

EXERCICE 2.19

Trouvez l'équation de la droite passant par le point P1 (4 , 4) et tangente au cercle dont l'équation est:

$$(X - 1)^2 + (Y - 1)^2 = 18$$

Solution:

Nous remarquons que le point P1 (4 , 4) appartient au cercle puisque:

$$(4 - 1)^2 + (4 - 1)^2 = 18$$

Pour trouver la pente de la droite, on peut partir de l'affirmation suivante:

"Une droite tangente à un cercle est perpendiculaire à une autre droite passant par le centre du cercle et le point d'intersection de la première droite avec le cercle".

Trouvons la pente de cette 2e droite.

Point d'intersection (4 , 4)

Centre du cercle (1 , 1)

$$m2 = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1} = \frac{4 - 1}{4 - 1} = \frac{3}{3} = 1$$

Si 2 droites sont perpendiculaires, le produit des 2 pentes vaut -1.

m1 = pente de la droite tangente au cercle puisque les 2 droites sont perpendiculaires.

$$m1 * m2 = -1$$

$$m1 * 1 = -1$$

$$m1 = -1$$

$$Y = -X + b$$

Puisque la droite passe par le point P1 (4 , 4).

$$4 = -4 + b$$

$b = 4 + 4$

$b = 8$

L'équation de la droite passant par P1 et tangente au cercle est:

$$Y = -X + 8$$

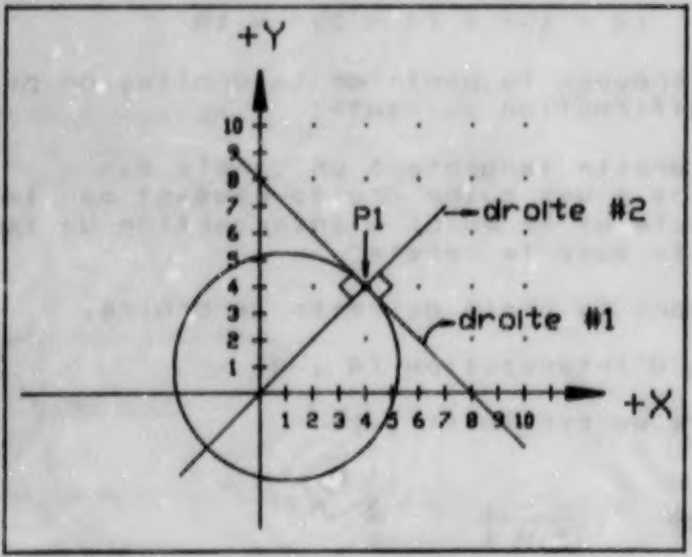


FIGURE 2.26

L'aire et la circonférence du cercle sont données par les formules suivantes:

$$AIRE = \pi * R^2 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$CIRCONFÉRENCE = 2 * \pi * R = \pi * D$$

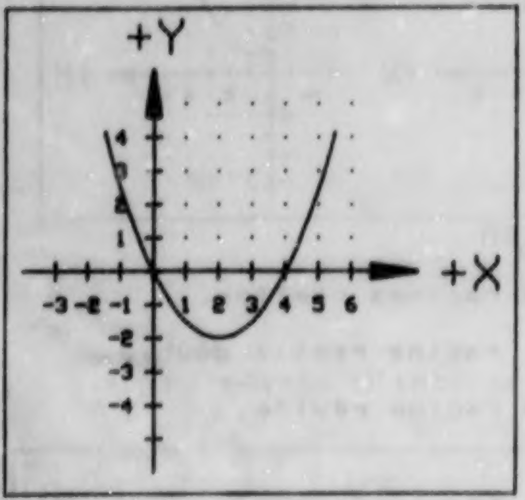
R = le rayon du cercle

D = le diamètre du cercle

$\pi = 3.1416$

Il y a d'autres équations qui sont parfois utiles en CN soit celles de la parabole, de l'ellipse et de l'hyperbole.

La parabole



$$\frac{X^2}{2} - 2X = Y$$

FIGURE 2.27

équation générale: $Y = A * X^2 + B * X + C$

Les racines de l'équation sont:

$$\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 * A * C}}{2 * A}$$

$B^2 - 4 * A * C$ est appelé le discriminant.

$$\frac{X^2}{2} - 2X = Y \qquad \frac{X^2}{2} - 2X + 2 = Y \qquad \frac{X^2}{2} - 2X + 4 = Y$$

$B^2 - 4AC =$ 4 0 -4

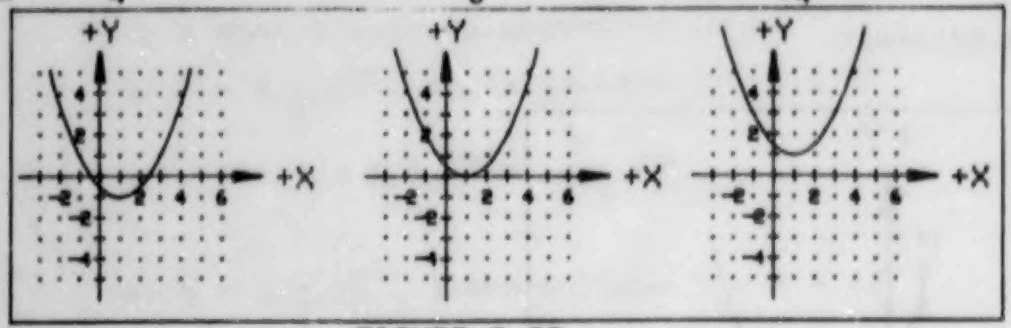


FIGURE 2.28

Si $B^2 - 4 * A * C > 0$, on a 2 racines réelles.

Si $B^2 - 4 * A * C = 0$, on a 1 racine réelle double.

Si $B^2 - 4 * A * C < 0$, on a 0 racine réelle.

EXERCICE 2.20

Trouvez le ou les points d'intersection de la droite $Y = X + 1$ avec le cercle:

$$(X - 5)^2 + (Y - 5)^2 = 4$$

Solution:

Substitution de l'équation de la droite dans celle du cercle.

$$(X - 5)^2 + (X + 1 - 5)^2 = 4$$

$$(X - 5)^2 + (X - 4)^2 - 4 = 0$$

$$X^2 + 25 - 10X + X^2 + 16 - 8X - 4 = 0$$

$$2X^2 - 18X + 37 = 0$$

Extraction des racines $\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$

$$X = \frac{18 \pm \sqrt{18^2 - 4 * 2 * 37}}{2 * 2}$$

$$X = \frac{18 \pm \sqrt{28}}{4}$$

$$X = \frac{9 \pm \sqrt{7}}{2}$$

Il y a donc 2 valeurs possibles de X.

Si $X = \frac{9 + \sqrt{7}}{2}$, alors puisque $Y = X + 1$;

$$Y = 1 + \frac{9 + \sqrt{7}}{2} = \frac{11 + \sqrt{7}}{2}$$

Si $X = \frac{9 - \sqrt{7}}{2}$, alors puisque $Y = X + 1$;

$$Y = 1 + \frac{9 - \sqrt{7}}{2} = \frac{11 - \sqrt{7}}{2}$$

Les points d'intersection sont donc:

$$\left(\frac{9 - \sqrt{7}}{2}, \frac{11 - \sqrt{7}}{2} \right) \text{ et } \left(\frac{9 + \sqrt{7}}{2}, \frac{11 + \sqrt{7}}{2} \right)$$

Nous pouvons vérifier graphiquement nos résultats.

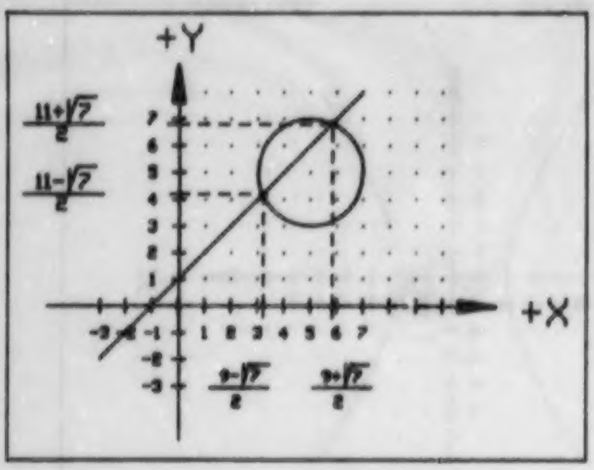


FIGURE 2.29

L'ellipse

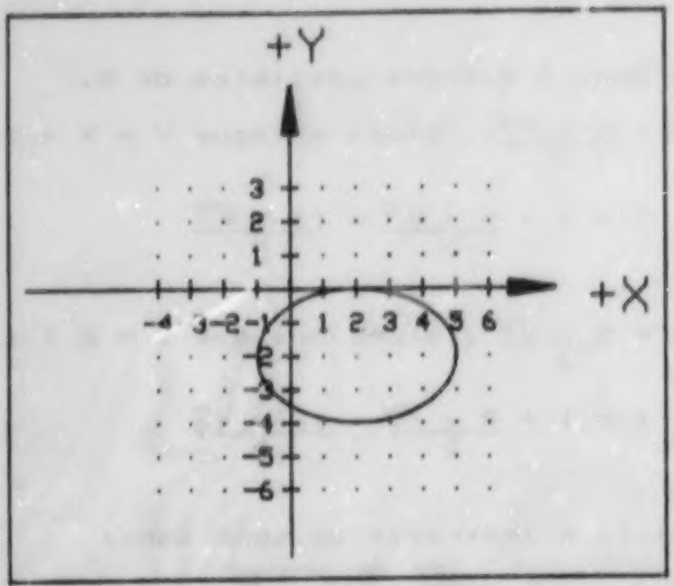


FIGURE 2.30

équation générale: $\frac{(X - H)^2}{A^2} + \frac{(Y - K)^2}{B^2} = 1$

L'hyperbole

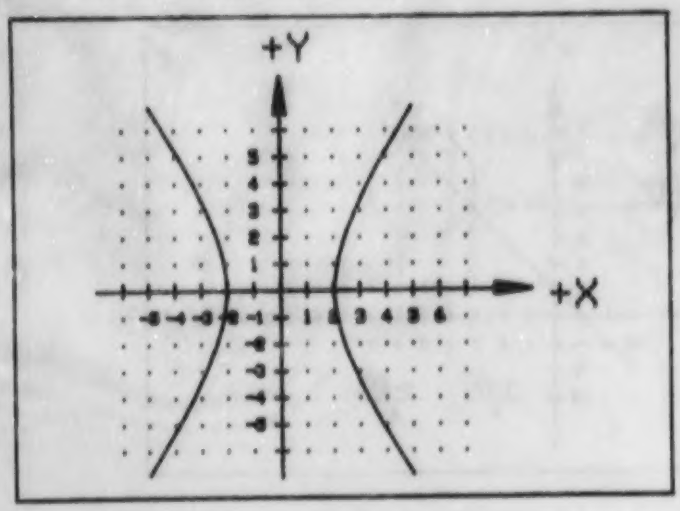


FIGURE 2.31

équation générale: $\frac{(X - H)^2}{A^2} - \frac{(Y - K)^2}{B^2} = 1$

2.3.6 LES ANGLES

À l'aide de la figure 2.32, on peut énumérer différentes catégories d'angles.

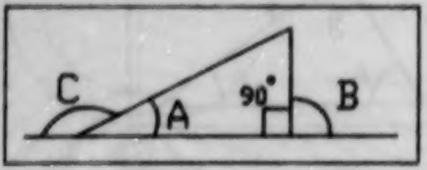


FIGURE 2.32

CATÉGORIE	LIMITES	EXEMPLE
Angle nul	0 degré	
Angle aigu	entre 0 et 90 degrés	A
Angle droit	90 degrés	B
Angle obtus	entre 90 et 180 degrés	C
Angle plat	180 degrés	

TABLEAU 2.3

Les relations suivantes existent lorsque 2 droites se croisent.

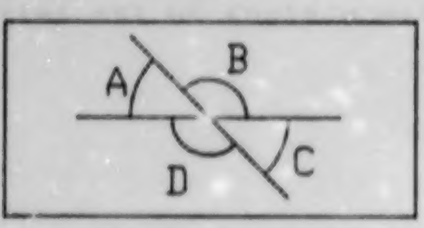


FIGURE 2.33

A = C

B = D

A + B = B + C = C + D = D + A = 180 degrés

La somme des angles intérieurs d'un triangle est égale à 180 degrés.

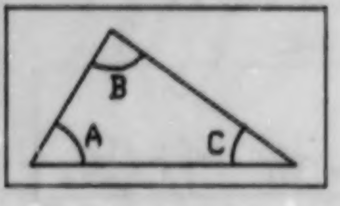


FIGURE 2.34

A + B + C = 180 degrés

La somme des angles intérieurs d'un quadrilatère est égale à 360 degrés.

360° = Une révolution complète autour d'un axe.

270° = 3/4 de révolution autour d'un axe.

180° = 1/2 révolution autour d'un axe.

90° = 1/4 de révolution autour d'un axe.

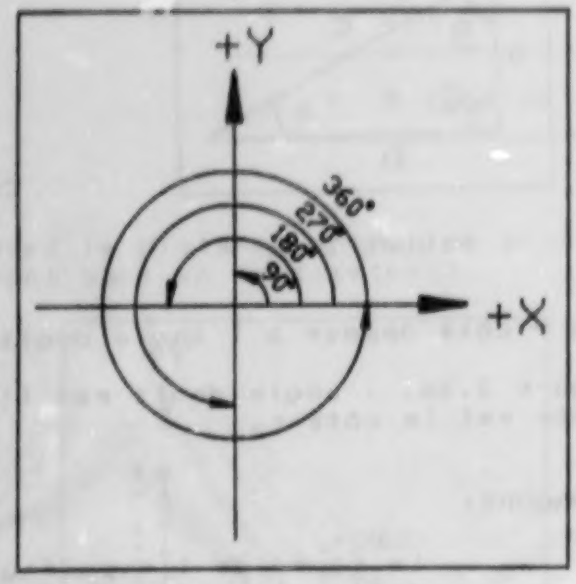


FIGURE 2.35

Un degré (°) peut être subdivisé en minutes (′) et une minute peut être subdivisée en secondes (″).

1 degré (1°) = 60 minutes (60′)

1 minute (1′) = 60 secondes (60″)

2.3.7 LE THÉORÈME DE PYTHAGORE ET LA DISTANCE ENTRE 2 POINTS

Un triangle rectangle est un triangle dont l′un de ses 3 angles est un angle droit (90 degrés).

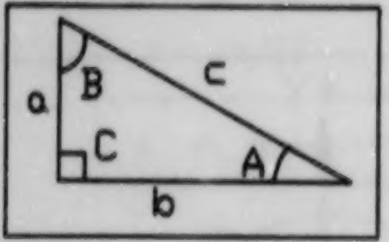


FIGURE 2.36

HYPOTÉNUSE = côté opposé à l'angle droit.

À la figure 2.36, l'angle droit est l'angle C alors l'hypoténuse est le côté c.

THÉORÈME DE PYTHAGORE:

Le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des 2 autres côtés du triangle.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

EXERCICE 2.21

Trouvez la longueur du côté X.

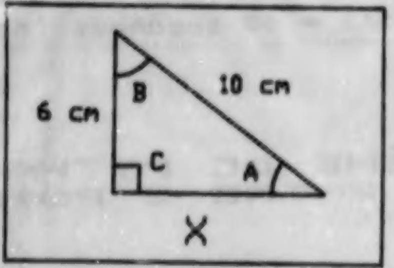


FIGURE 2.37

Solution:

Par Pythagore:

$$6^2 + X^2 = 10^2$$

$$36 + X^2 = 100$$

$$X^2 = 100 - 36$$

$$x^2 = 64$$

$$x = \sqrt{64}$$

$$\boxed{x = 8 \text{ centimètres}}$$

EXERCICE 2.22

Trouvez la distance entre les points P1 et P2 (les dimensions sont en centimètres).

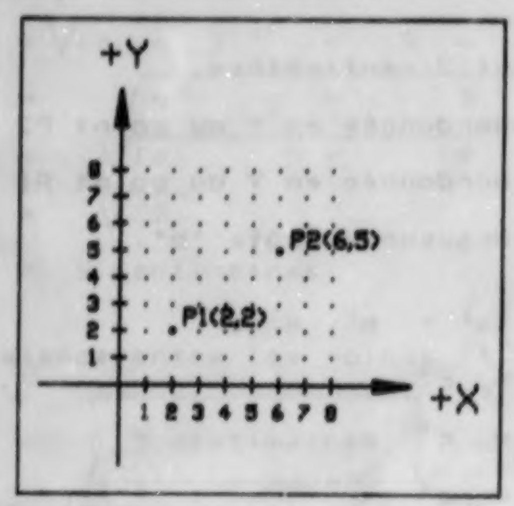


FIGURE 2.38

Solution:

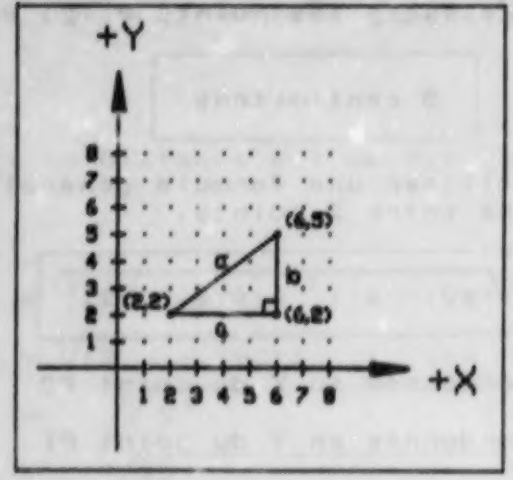


FIGURE 2.39

A) On crée un triangle rectangle où l'hypoténuse est le côté reliant les points P1 et P2 (voir Figure 2.39).

B) Le côté "a" vaut 4 centimètres.

6 est la coordonnée en X du point P2

−2 est la coordonnée en X du point P1

4 est la longueur du côté "a".

C) Le côté "b" vaut 3 centimètres.

5 est la coordonnée en Y du point P2

−2 est la coordonnée en Y du point P1

3 est la longueur du côté "b".

D) Par Pythagore $a^2 + b^2 = c^2$

$$4^2 + 3^2 = c^2$$

$$16 + 9 = c^2$$

$$25 = c^2$$

$$c = \sqrt{25} = 5 \text{ centimètres}$$

La distance entre les points P1 et P2 est:

5 centimètres

On peut utiliser une formule générale pour trouver la distance entre 2 points.

$$\text{DISTANCE} = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

X2 = la coordonnée en X du point P2

X1 = la coordonnée en Y du point P1

Y2 = la coordonnée en X du point P2

Y1 = la coordonnée en Y du point P1

Dans l'exemple précédent, X2=6, X1=2, Y2=5, Y1=2.

EXERCICE 2.23

Trouvez la distance entre les points P1 (2 , 2) et P2 (6 , 5) (les dimensions sont en centimètres).

Solution:

$$\text{Distance} = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{(6 - 2)^2 + (5 - 2)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{4^2 + 3^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{16 + 9}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{25}$$

Distance = 5 centimètres

La distance entre les points P1 et P2 est:

5 centimètres

EXERCICE 2.24

Trouvez graphiquement et à l'aide de la formule générale la distance entre les points P1 (-3 , 2) et P2 (2 , -4) (les dimensions sont en centimètres).

Solution:

<u>Graphiquement</u>: la distance est de 7.8 centimètres environ.

<u>Théoriquement</u>:

$$\text{Distance} = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{(2 - (-3))^2 + (-4 - 2)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{5^2 + (-6)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{25 + 36}$$

Distance = $\sqrt{61}$

Distance = 7.8102 centimètres

La distance entre les points P1 et P2 est:

7.8102 centimètres

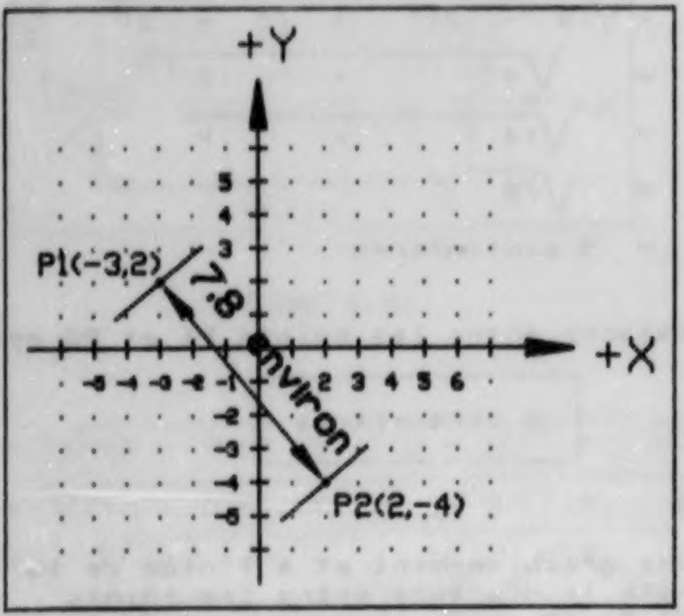


FIGURE 2.40

Si les 2 points ne sont pas dans le même plan, on peut alors calculer la distance entre ces 2 points à l'aide de la formule générale suivante:

$$DISTANCE = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2}$$

Les coordonnées du point P1 sont (X1, Y1, Z1) et celles du point P2 sont (X2, Y2, Z2).

EXERCICE 2.25

Trouvez la distance entre les points P1 (3 , 2 , 5) et P2 (17 , 4 , 10) (les dimensions sont en centimètres).

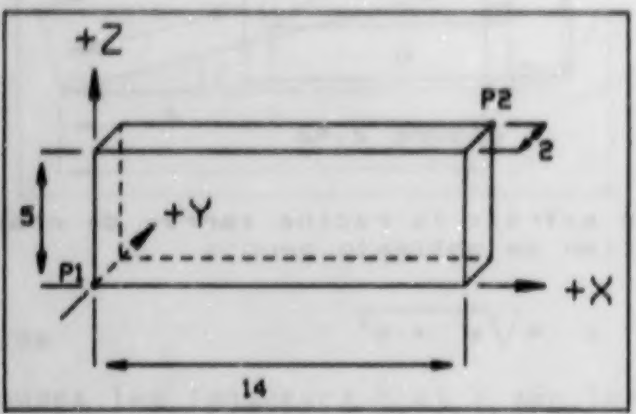


FIGURE 2.41

Solution:

$$\text{Distance} = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{(17 - 3)^2 + (4 - 2)^2 + (10 - 5)^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{14^2 + 2^2 + 5^2}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{196 + 4 + 25}$$

$$\text{Distance} = \sqrt{225}$$

Distance = 15 centimètres

La distance entre les points P1 et P2 est:

15 centimètres

Par le théorème de Pythagore, on a vu que pour un triangle rectangle:

$$c^2 = a^2 + b^2$$

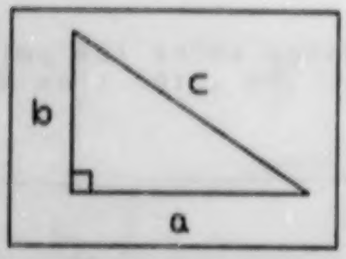


FIGURE 2.42

Si l'on extrait la racine carrée de chaque côté de l'équation on obtient:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

On peut remarquer la ressemblance entre cette dernière formule et la formule de la distance entre 2 points dans le plan.

$$DISTANCE = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

2.3.8 TRIANGLES SEMBLABLES

Lorsque 2 triangles sont semblables, c'est-à-dire que leurs angles sont égaux, on peut appliquer les égalités suivantes:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f}$$

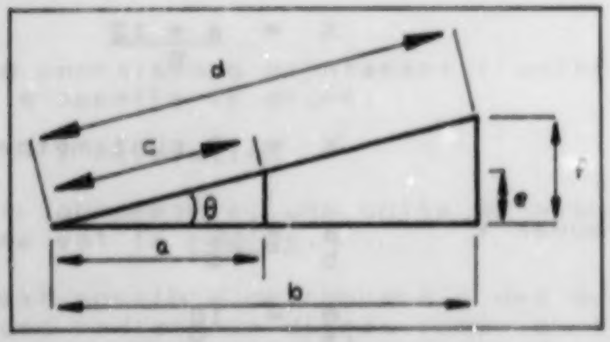


FIGURE 2.43

EXERCICE 2.26

Trouvez les longueurs X et Y sur les triangles (les dimensions sont en centimètres).

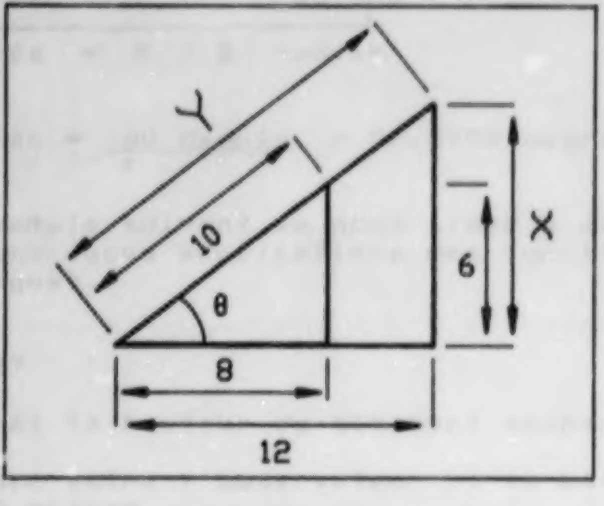


FIGURE 2.44

Solution:

Pour trouver X $\frac{a}{b} = \frac{e}{f}$

$$\frac{8}{12} = \frac{6}{X}$$

$$X * \frac{8}{12} = \frac{6}{X} * X$$

$$X = \frac{6 * 12}{8}$$

$$X = 9 \text{ centimètres}$$

Pour trouver Y

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

$$\frac{8}{12} = \frac{10}{Y}$$

$$Y * \frac{8}{12} = \frac{10}{Y} * Y$$

$$Y = \frac{10 * 12}{8}$$

$$\boxed{Y = 15 \text{ centimètres}}$$

2.4 TRIGONOMÉTRIE

Nous connaissons maintenant l'unité de mesure d'angle qui s'appelle le degré.

360 degrés = 1 révolution

En trigonométrie, une unité de mesure d'angle très utilisée est le radian.

Il est possible de convertir des degrés en radians et des radians en degrés comme on l'a déjà fait à la section 2.2 en convertissant des centimètres en pouces et des pouces en centimètres.

$$\pi = 3.1415926535....$$

$$360 \text{ degrés} = 2 * \pi \text{ radians}$$

$$180 \text{ degrés} = \pi \text{ radians}$$

$$90 \text{ degrés} = \pi / 2 \text{ radian}$$

$$1 \text{ radian} = \frac{180 \text{ degrés}}{\pi} = 57.2958 \text{ degrés}$$

L'exemple suivant va nous aider à comprendre l'une des nombreuses applications des fonctions trigonométriques.

EXERCICE 2.27

Trouvez la hauteur du bâtiment sachant que...

A) la distance entre l'observateur et le bâtiment est de 10 mètres.

B) l'observateur regarde le bâtiment avec un angle d'élévation de 60°.

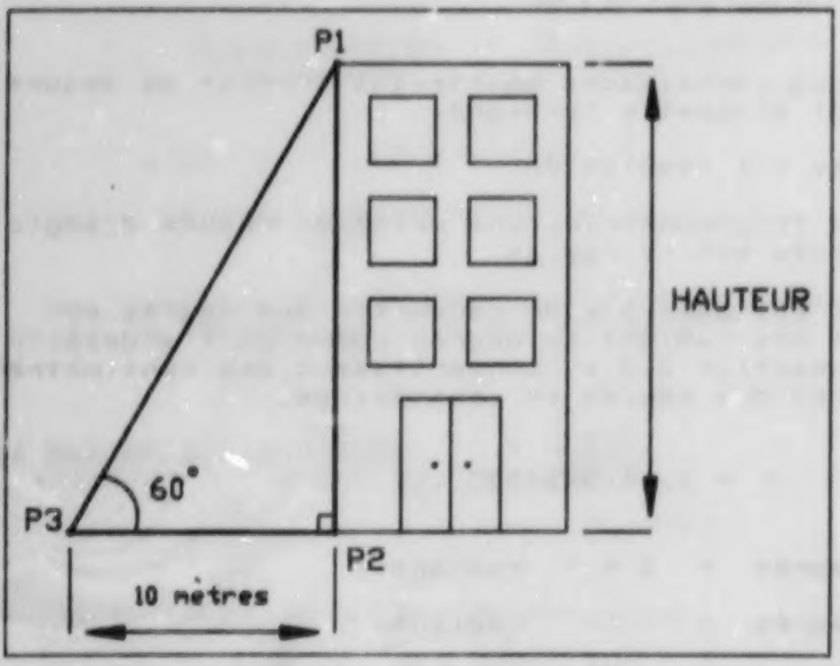


FIGURE 2.45

Solution:

On peut tracer un petit triangle rectangle semblable au triangle P1P2P3 et mesurer ses côtés.

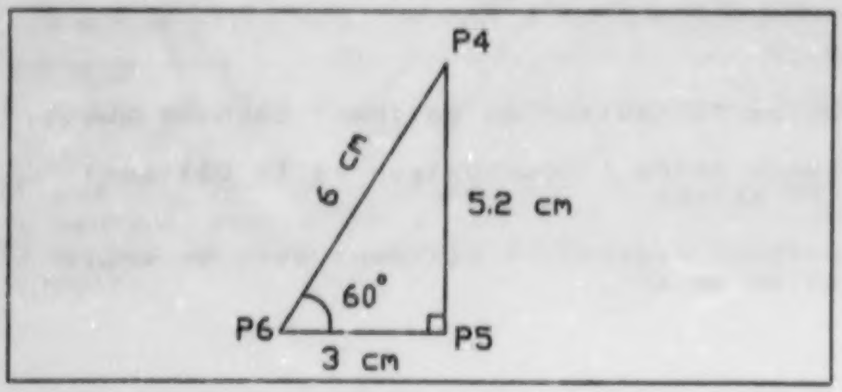


FIGURE 2.46

Par la règle des triangles semblables:

$$\frac{3 \text{ centimètres}}{10 \text{ mètres}} = \frac{5.2 \text{ centimètres}}{H \text{ mètres}}$$

d'où H = 17.3 mètres

Cette méthode est peu précise.

Une fonction trigonométrique nous dit que pour un triangle rectangle dont l'angle θ est 60°, le rapport...

$$\frac{\text{côté opposé à l'angle } \theta}{\text{côté adjacent à l'angle } \theta} = \frac{P4P5}{P5P6}$$

$$= 1.7320508$$

Cette fonction s'appelle tangente.

TAN 60° = 1.7320508

$$\frac{\text{côté opposé à l'angle } \theta}{\text{côté adjacent à l'angle } \theta} = 1.7320508$$

$$\frac{\text{Hauteur}}{10 \text{ mètres}} = 1.7320508$$

D'où Hauteur = 10 m * TAN 60° = 17.320508 mètres.

Cette méthode est plus rapide et plus précise.

N.B. Il est à noter que la précision de la valeur de la hauteur dépend entre autre de la précision de la mesure de l'angle et du côté adjacent à l'angle.

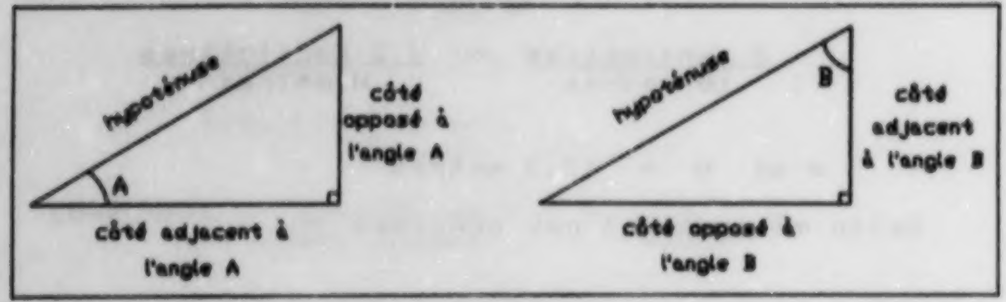


FIGURE 2.47

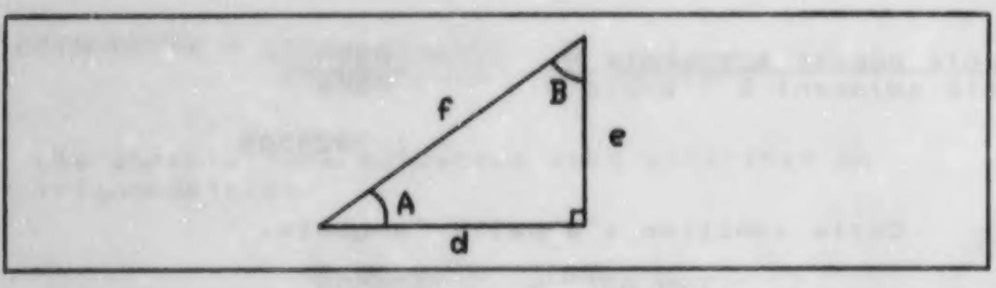


FIGURE 2.48

Le côté d est le côté adjacent à l'angle A.

Le côté d est le côté opposé à l'angle B.

Le côté e est le côté opposé à l'angle A.

Le côté e est le côté adjacent à l'angle B.

Le côté f est l'hypoténuse.

$$\text{SINUS} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}$$

SINUS A = e/f

SINUS B = d/f

$$\text{COSINUS} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}$$

COSINUS A = d/f

COSINUS B = e/f

$$\text{TANGENTE} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}$$

TANGENTE A = e/d

TANGENTE B = d/e

$$\text{COSÉCANTE} = \frac{\text{hypoténuse}}{\text{côté opposé}} = \frac{1}{\text{SINUS}}$$

$$\text{SÉCANTE} = \frac{\text{hypoténuse}}{\text{côté adjacent}} = \frac{1}{\text{COSINUS}}$$

$$\text{COTANGENTE} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{côté opposé}} = \frac{1}{\text{TANGENTE}}$$

N.B. Les abréviations suivantes sont utilisées en trigonométries:

(SIN) pour SINUS

(COS) pour COSINUS

et (TAN) pour TANGENTE

Quelques fois, l'on connait la longueur des côtés d'un triangle et l'on cherche la valeur des angles plutôt que de connaître la valeur des angles et chercher la longueur des côtés. On peut alors utiliser les fonctions inverses ARC SIN, ARC COS et ARC TAN.

Connaissant l'angle, on peut à l'aide de la fonction SINUS, trouver le rapport du côté opposé sur l'hypoténuse.

Connaissant le rapport du côté opposé sur l'hypoténuse, on peut trouver l'angle à l'aide de la fonction ARC SIN.

EXERCICE 2.28

Trouvez la valeur du côté "f" et de l'angle B et vérifier les formules trigonométriques pour les angles B et 30°.

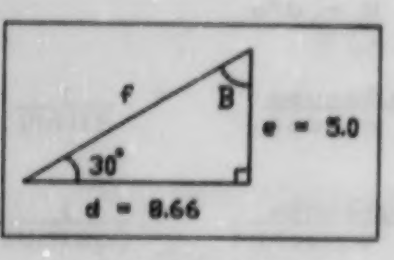


FIGURE 2.49

Solution:

La somme des angles intérieurs d'un triangle est de 180°.

Donc $30° + B + 90° = 180°$

$B = 180° - 90° - 30°$

$B = 60°$

Par Pythagore $d^2 + e^2 = f^2$

$8.66^2 + 5.00^2 = f^2$

$f = 9.99978$

On arrondit à $f = 10.00$

$SIN\ 30° = 0.500 \qquad \frac{e}{f} = \frac{5.00}{10.00} = 0.500$

$COS\ 30° = 0.866 \qquad \frac{d}{f} = \frac{8.66}{10.00} = 0.866$

$TAN\ 30° = 0.577 \qquad \frac{e}{d} = \frac{5.00}{8.66} = 0.577$

SIN 60° = 0.866 $\frac{d}{f} = \frac{8.66}{10.00} = 0.866$

COS 60° = 0.500 $\frac{e}{f} = \frac{5.00}{10.00} = 0.500$

TAN 60° = 1.732 $\frac{d}{e} = \frac{8.66}{5.00} = 1.732$

EXERCICE 2.29

Trouvez la valeur des angles A et B en degré et en radian.

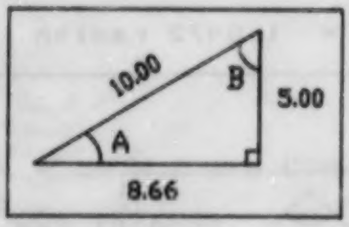


FIGURE 2.50

Solution:

$$\text{SIN A} = \frac{5.00}{10.00} = 0.5$$

$$\text{A} = \text{ARC SIN (0.5)} = 30°$$

$$\text{COS A} = \frac{8.66}{10.00} = 0.866$$

$$\text{A} = \text{ARC COS (0.866)} = 30°$$

$$\text{TAN B} = \frac{8.66}{5.00} = 1.732$$

$$\text{B} = \text{ARC TAN (1.732)} = 60°$$

RÈGLE DE TROIS

360° = 2 π radians

30° = ? radian

$$? \text{ radian} = \frac{2\pi * 30°}{360°} = 0.5236 \text{ radian}$$

$$360° = 2\pi \text{ radians}$$

$$60° = \ ? \text{ radian}$$

$$? \text{ radian} = \frac{2\pi * 60°}{360°} = 1.0472 \text{ radian}$$

A	=	30°	=	0.5236 radian
B	=	60°	=	1.0472 radian

Triangle quelconque

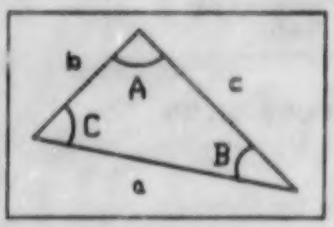


FIGURE 2.51

Les relations suivantes existent entre les angles et les côtés d'un triangle quelconque.

$$\frac{\sin A}{c} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{a}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,b\,c\,\cos A$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2\,a\,c\,\cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,a\,b\,\cos C$$

TABLEAU 2.4

EXERCICE 2.30

Trouvez la valeur des angles A, B et C.

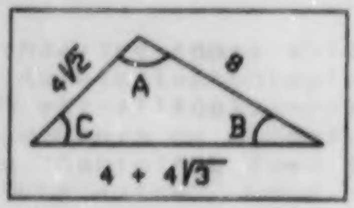


FIGURE 2.52

Solution:

Cherchons C:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,a\,b\,\text{COS } C$$

seul C est inconnu.

$$8^2 = (4\sqrt{2})^2 + (4 + 4\sqrt{3})^2 - 2 * 4\sqrt{2} * (4 + 4\sqrt{3})\ \ \text{COS } C$$

$$64 = 32 + 119.4256 - 123.6385\ \text{COS } C$$

$$-87.4256 = -123.6385\ \text{COS } C$$

$$\text{COS } C = 0.7071$$

ARC COS (0.7071) = C = 45°

Cherchons B:

$$\frac{\text{SIN } B}{b} = \frac{\text{SIN } C}{c}$$

$$\frac{\text{SIN } B}{4\sqrt{2}} = \frac{\text{SIN } 45°}{8}$$

$$\text{SIN } B = \frac{0.7071 * 4\sqrt{2}}{8} = 0.5$$

ARC SIN (0.5) = B = 30°

<u>Cherchons A</u>:

La somme des angles intérieurs d'un triangle est égale à 180°.

$$A + B + C = 180°$$

$$A + 30° + 45° = 180°$$

$$A = 180° - 45° - 30°$$

$$\boxed{A = 105°}$$

Voici une liste de formules trigonométriques utiles.

$$\text{SIN}^2 X + \text{COS}^2 X = 1$$

$$1 + \text{TAN}^2 X = \text{SÉC}^2 X$$

$$1 + \text{COTAN}^2 X = \text{COSÉC}^2 X$$

$$\text{SIN } X = \text{COS } (90° - X) = \text{SIN } (180° - X)$$

$$\text{COS } X = \text{SIN } (90° - X) = -\text{COS } (180° - X)$$

$$\text{TAN } X = \text{COTAN } (90° - X) = -\text{TAN } (180° - X)$$

$$\text{SIN } (A + B) = \text{SIN } A \ \text{COS } B + \text{COS } A \ \text{SIN } B$$

$$\text{SIN } (A - B) = \text{SIN } A \ \text{COS } B - \text{COS } A \ \text{SIN } B$$

$$\text{COS } (A + B) = \text{COS } A \ \text{COS } B - \text{SIN } A \ \text{SIN } B$$

$$\text{COS } (A - B) = \text{COS } A \ \text{COS } B + \text{SIN } A \ \text{SIN } B$$

$$\text{SIN } (2 A) = 2 \ \text{SIN } A \ \text{COS } A$$

$$\text{COS } (2 A) = \text{COS}^2 A - \text{SIN}^2 A$$

$$\text{TAN } (2 A) = \frac{2 * \text{TAN } A}{1 - \text{TAN}^2 A}$$

TABLEAU 2.5

--- CHAPITRE 3 ---

CONSTITUANTS TECHNOLOGIQUES D'UNE MOCN

Dans ce chapitre, nous allons étudier différents constituants technologiques des MOCN. Pourquoi une MOCN est-elle plus précise qu'une autre? Pourquoi les changements de direction des mouvements de la table ou du chariot se font plus rapidement sur une MOCN que sur une autre? Nous répondrons à ces questions dans ce chapitre.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Familiariser l'élève aux différents constituants de la MOCN, ce qui l'amènera à mieux comprendre le fonctionnement interne de la MOCN.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre l'élève devrait être capable de...

  - différencier un système en boucle ouverte d'un système en boucle fermée;

  - définir les différents groupes de capteurs;

  - décrire les principales sortes de moteurs et d'actionneurs utilisés en CN;

  - décrire les organes de transmission de mouvements de translation;

  - définir 2 commandes de déplacements.

3.1 DEUX PRINCIPES IMPORTANTS

Voici 2 principes utiles à l'étude des constituants.

1er PRINCIPE

> Plus l'inertie des constituants mobiles de la MOCN et celle de la pièce sont grandes, plus les accélérations et décélérations sont faibles.

Qu'est-ce que l'inertie?... C'est la propriété qu'a un corps de ne pouvoir changer l'état du mouvement dans lequel il se trouve. Plus l'inertie est grande, plus il est difficile de changer la direction et l'intensité du mouvement.

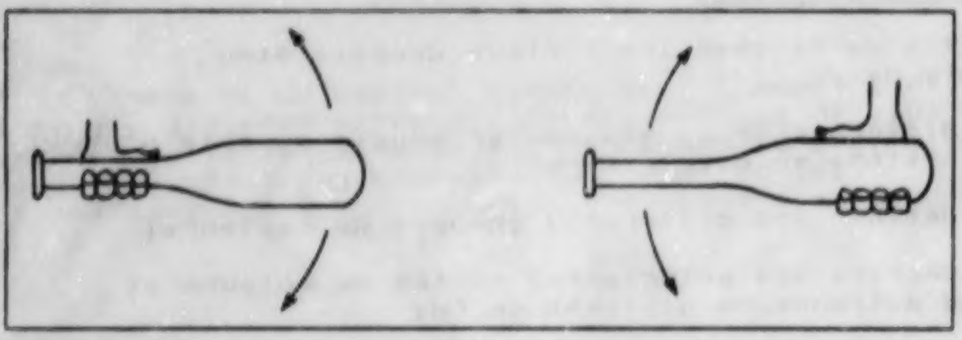


FIGURE 3.1

Un gros camion a plus d'inertie qu'une petite automobile. Un bâton de baseball a plus d'inertie de rotation s'il est tenu par le manche que s'il est tenu par le gros bout.

Une bonne MOCN a une table ou un chariot qui accélère et décélère rapidement. Il faut donc que le constructeur cherche à minimiser l'inertie des constituants tout en maintenant une certaine rigidité de la MOCN.

2e PRINCIPE

La <u>précision</u> des mesures ne dépend pas que de l'instrument de mesure, mais aussi des jeux et déformations des constituants.

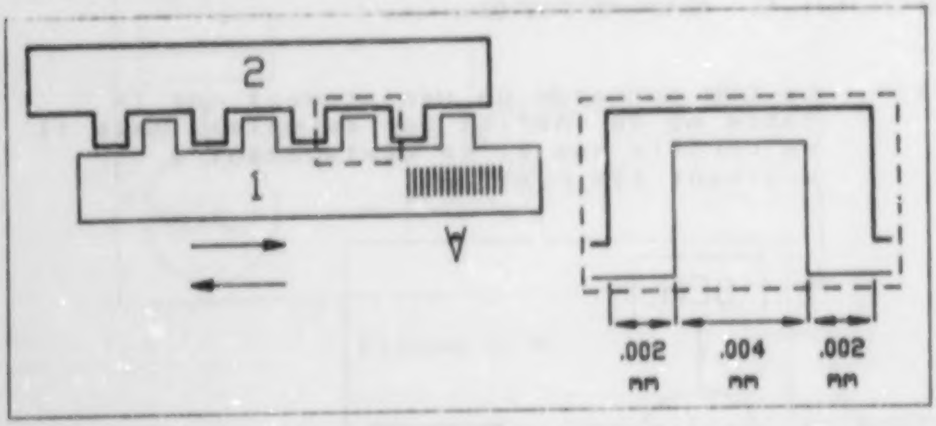


FIGURE 3.2

Même si un capteur situé sur l'élément 1 de la figure 3.2 peut percevoir un déplacement de .001 millimètre, il est faux de prétendre que la précision du déplacement de l'élément 2 est aussi de .001 millimètre à cause du jeu entre l'élément 1 et 2.

3.2 LES SERVO-MÉCANISMES

3.2.1 LES SYSTÈMES TRAVAILLANT EN BOUCLE OUVERTE

Définition: Le DCN commande un déplacement (de la table ou du chariot par exemple), mais il ne vérifie pas si ce déplacement a vraiment été réalisé.

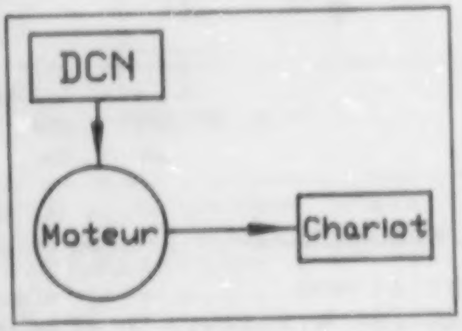


FIGURE 3.3

Un exemple d'un système travaillant en <u>boucle ouverte</u> est une <u>sécheuse à linge</u>. Que le linge soit sec avant la fin, ou qu'il soit encore humide à la fin du cycle, la sécheuse s'arrêtera après un temps prédéterminé. La sécheuse ne reçoit pas d'information (feedback) sur l'état réel du linge.

3.2.2 LES SYSTÈMES TRAVAILLANT EN BOUCLE FERMÉE

Définition: Le DCN commande un déplacement et il vérifie à l'aide d'un capteur, si ce déplacement a vraiment été réalisé dans le but de corriger ce dernier s'il diffère de la valeur commandée. L'évaluation de la grandeur du déplacement et sa comparaison à la valeur commandée s'appelle la rétroaction (feedback).

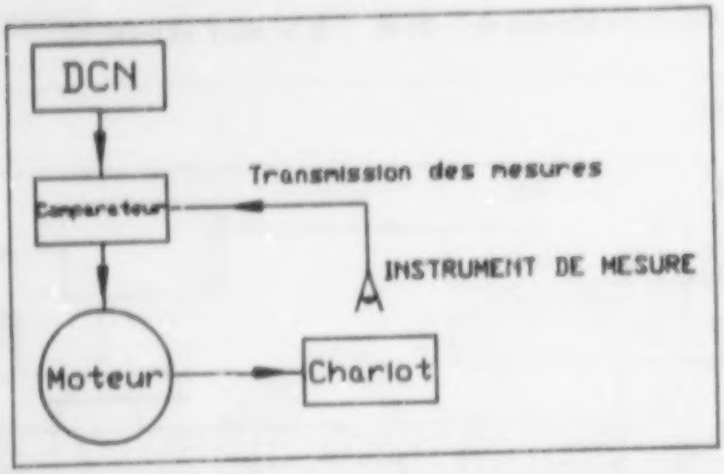


FIGURE 3.4

Un exemple d'un système travaillant en boucle fermée est un système de chauffage domestique. Le système évalue la température à l'intérieur de la maison, la compare avec celle préréglée sur le thermostat et décide s'il doit chauffer ou non. Si la température à l'intérieur de la maison est plus basse que celle préréglée, il chauffera la maison. Une fois que la température préréglée est atteinte, le système de chauffage s'arrête. Ici, le feedback est le retour de l'information quant à la température.

Sur une MOCN, les paramètres qu'il faut contrôler sont les positions, les vitesses ainsi que les accélérations de la table ou du chariot suivant chaque axe. Des instruments de mesure doivent être installés en permanence sur la MOCN pour vérifier si les mouvements exécutés sont conformes aux mouvements programmés.

Une MOCN équipée de systèmes en boucle fermée est plus chère qu'une autre MOCN équipée d'un système en boucle ouverte. Ceci est compensé par une fiabilité accrue.

3.2.3 DES SCHÉMAS DE SYSTÈMES

BOUCLE OUVERTE

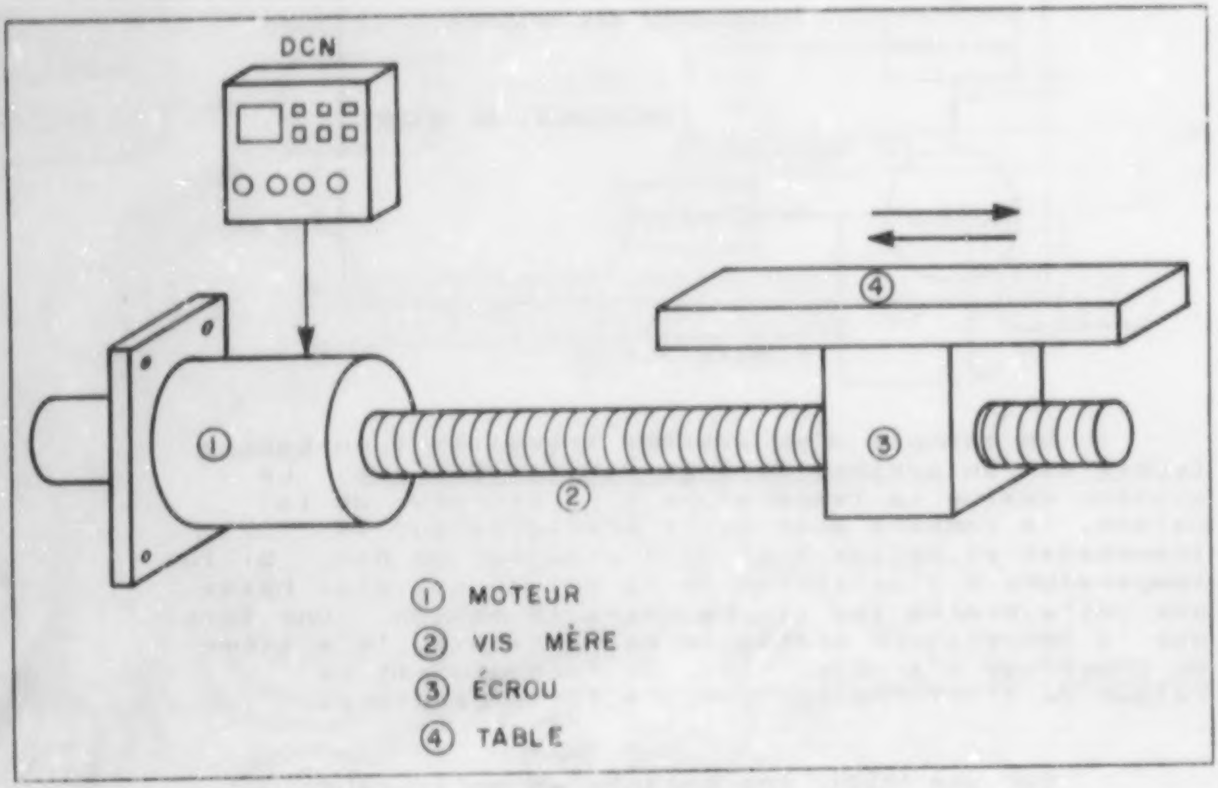


FIGURE 3.5

A - Le DCN dirige le moteur.

B - Le moteur entraîne la vis mère dans un mouvement de rotation.

C - La vis mère entraîne l'écrou et la table ou le chariot dans un mouvement de translation.

BOUCLE FERMÉE

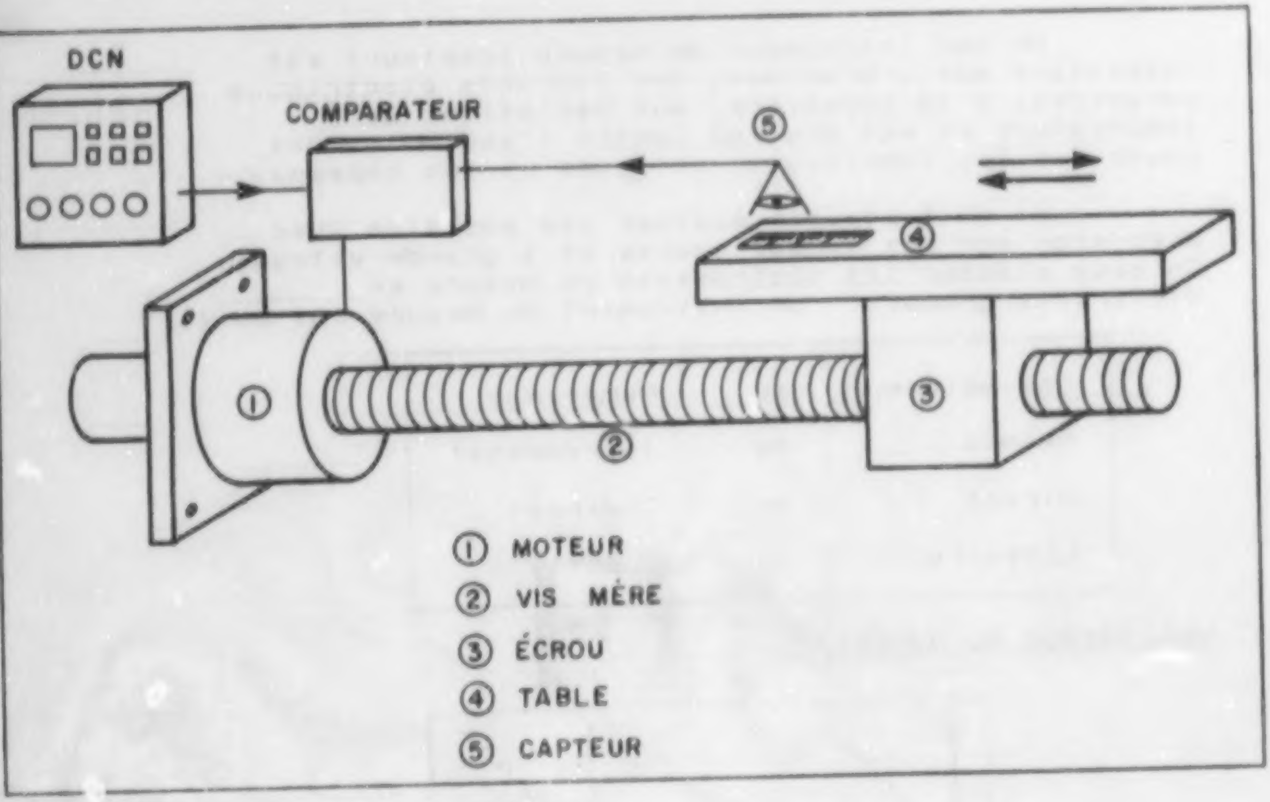


FIGURE 3.6

A - Le DCN dirige le moteur.

B - Le moteur entraîne la vis mère dans un mouvement de rotation.

C - La vis mère entraîne l'écrou et la table ou le chariot dans un mouvement de translation.

D - Le capteur évalue la position de la table ou du chariot.

E - Le capteur communique au comparateur la position de la table ou du chariot.

F - Le comparateur confronte la position réelle communiquée par le capteur à la position commandée.

G - Si les 2 positions ne correspondent pas, le système actionne le moteur jusqu'à ce que la position réelle corresponde à la position commandée.

3.3 LES INSTRUMENTS DE MESURE

Un bon instrument de mesure (capteur) est insensible aux vibrations, aux courants électriques parasites, à la poussière, aux variations de température et est protégé contre l'endommagement causé par les lubrifiants utilisés et les copeaux.

Il doit pouvoir évaluer une position avec précision sur une longue course et à grande vitesse. On peut classer les instruments de mesure en différents groupes. Un instrument de mesure est soit:

Analogique	ou	Numérique
Absolu	ou	Incrémental
Direct	ou	Indirect
Linéaire	ou	Rotatif

<u>ANALOGIQUE OU NUMÉRIQUE</u>

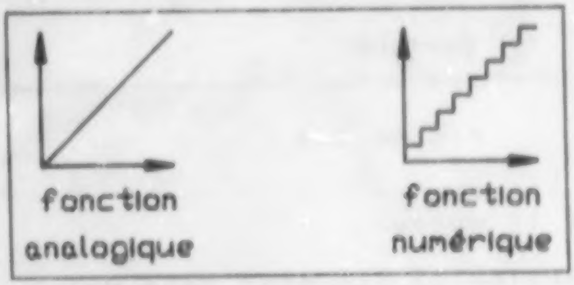


FIGURE 3.7

Un instrument de mesure <u>analogique</u> peut transmettre toutes les valeurs comprises entre 2 limites.

Un instrument de mesure <u>numérique</u> ne peut transmettre qu'un nombre fini de valeurs.

Prenons comme exemple une montre "digitale". Il s'agit d'un instrument numérique. Si elle peut donner les secondes, elle indiquera par exemple, soit 27 secondes ou 28 secondes, mais pas de valeurs intermédiaires. Une montre à aiguilles est un instrument analogique. Elle peut donner une infinité de valeurs entre 27 secondes et 28 secondes.

ABSOLU OU INCRÉMENTAL

(voir Section 2.3.2)

DIRECT OU INDIRECT

Un instrument de mesure <u>direct</u> mesure directement (sans intermédiaire), la position de la table ou du chariot.

Un instrument de mesure <u>indirect</u> mesure la position de façon indirecte, à l'aide d'un capteur rotatif situé au bout de la vis ou monté sur l'arbre du moteur d'entraînement.

Un instrument de mesure indirect est généralement moins coûteux qu'un instrument de mesure direct, mais il est moins précis puisque la mesure précision du système dépend de la déformation de la vis, du jeu vis-écrou et du jeu de l'attelage.

LINÉAIRE OU ROTATIF

Une règle est un instrument de mesure <u>linéaire</u>.

Un cadran est un instrument de mesure <u>rotatif</u>.

La plupart du temps, un instrument de mesure linéaire est direct et un instrument de mesure rotatif est indirect.

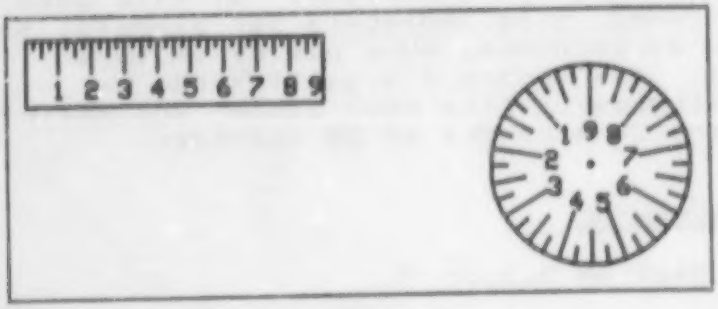


FIGURE 3.8

3.3.1 LES INSTRUMENTS DE MESURE ANALOGIQUES

LE RÉSOLVEUR

C'est un petit système rotatif placé au bout de la vis ou du moteur, qui permet d'évaluer l'angle de rotation de la vis ou du moteur.

Les enroulements de fils électriques F1 et F2 sont fixes et les enroulements M1 et M2 suivent la rotation du moteur ou de la vis. Si une tension est créée aux bornes de F2, des tensions sont alors induites aux bornes de M1 et M2.

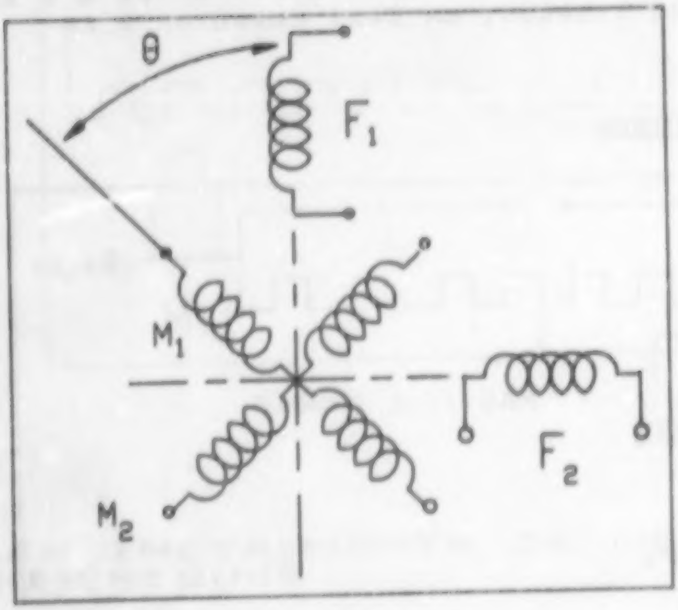


FIGURE 3.9

Tension M1 = Tension F2 * COS θ
Tension M2 = Tension F2 * SIN θ

Une tension est créée aux bornes de F2, les tensions induites aux bornes de M1 et M2 sont mesurées et l'angle θ est ainsi trouvé. Connaissant θ et le pas de la vis, on peut ensuite calculer la position réelle du chariot par la formule suivante:

$$\text{POSITION DU CHARIOT} = \text{PAS DE LA VIS} * \frac{\theta}{360} \quad (\theta \text{ en degrés})$$

Un résolveur est un instrument de mesure assez précis pour que l'on puisse évaluer de 1000 à 2000 mesures sur une révolution. Il faut noter que le système décrit précédemment n'est valide que pour un seul pas de la vis, parce que la même lecture sera obtenue pour 70° par exemple, ou 430° (360 +70), ou 70° + un multiple de 360°.

Avec un système à plusieurs résolveurs (3 par exemple) tournant à des vitesses différentes à l'aide de réducteurs de vitesse, on peut remédier à ce problème.

LA RÈGLE INDUCTOSYN

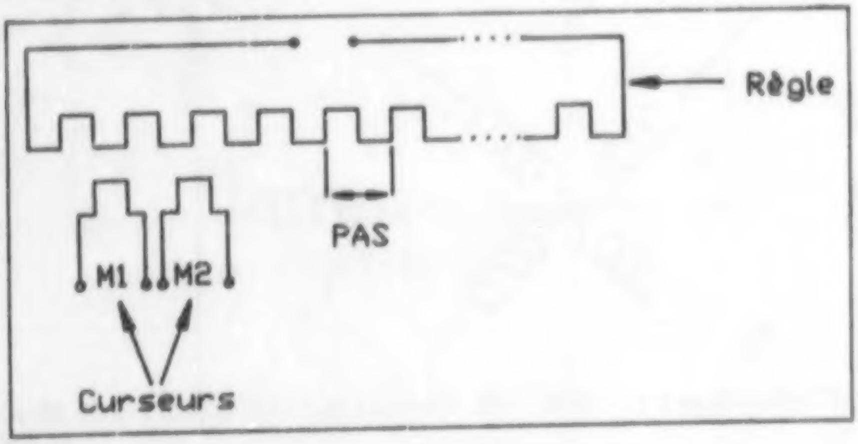


FIGURE 3.10

Les curseurs sont immobiles et la règle se déplace, fixée à la table ou au chariot. Une tension est créée aux bornes de la règle. Des tensions apparaissent alors aux bornes des curseurs M1 et M2 qui sont décalés d'un quart de pas. Lorsque le curseur est en face d'une section de la règle, sa tension est maximale (voir M1, Figure 3.10). Lorsqu'un curseur est loin d'une section de la règle, sa tension est minimale (voir Figure 3.11).

Comme le résolveur, la règle inductosyn ne se suffit que dans un seul pas. On pourra alors utiliser 3 règles inductosyn combinées: grossière, moyenne et fine. On peut aussi, au lieu de 3 règles inductosyn, combiner une règle inductosyn fine avec un compteur de pas ou avec un résolveur grossier.

Les figures 3.10 et 3.11 sont des représentations schématiques seulement. Il ne faut pas penser qu'une règle inductosyn ressemble physiquement à ces figures.

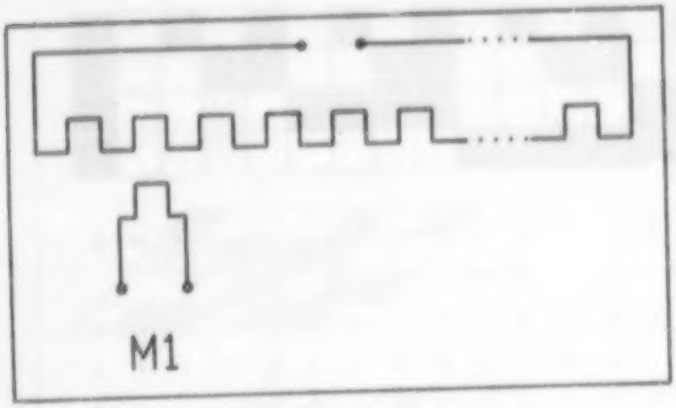


FIGURE 3.11

3.3.2 LES INSTRUMENTS DE MESURE NUMÉRIQUES

LES CODEURS

Il existe des codeurs linéaires et rotatifs. Le codeur linéaire est une bande codée comprenant un certain nombre de pistes et est fixé à la table ou au chariot. Chaque position correspond à un code. Un lecteur (pas un être humain) lit le code et le transmet au comparateur qui connaît la position du chariot associée à ce code. Les codeurs sont plus coûteux que les instruments de mesure analogiques, mais ils sont plus simples puisqu'ils ne nécessitent pas de convertisseur analogique à numérique (voir Section 3.3.4).

On se sert à la figure 3.12 de 0 et de 1 pour visualiser les codes. On peut y voir un codeur rotatif et linéaire, tous 2 à lecture photoélectrique. Un lecteur perçoit les zones opaques et transparentes de chaque piste à un endroit donné sur la bande codée.

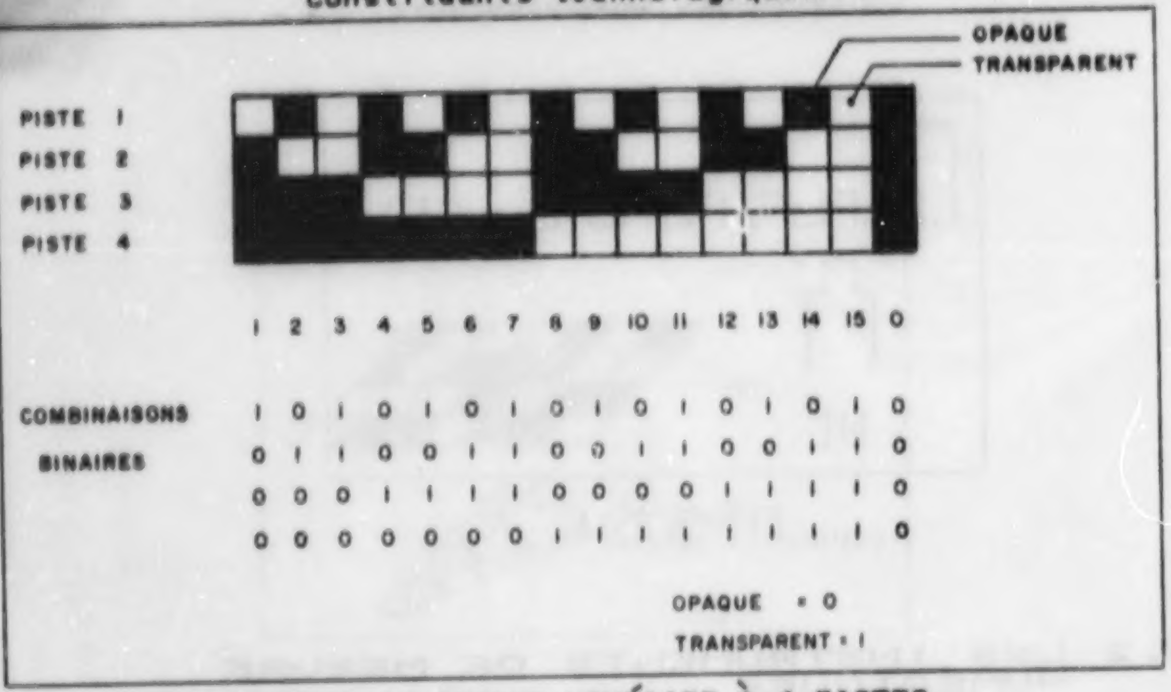


FIGURE 3.12 CODEUR LINÉAIRE À 4 PISTES

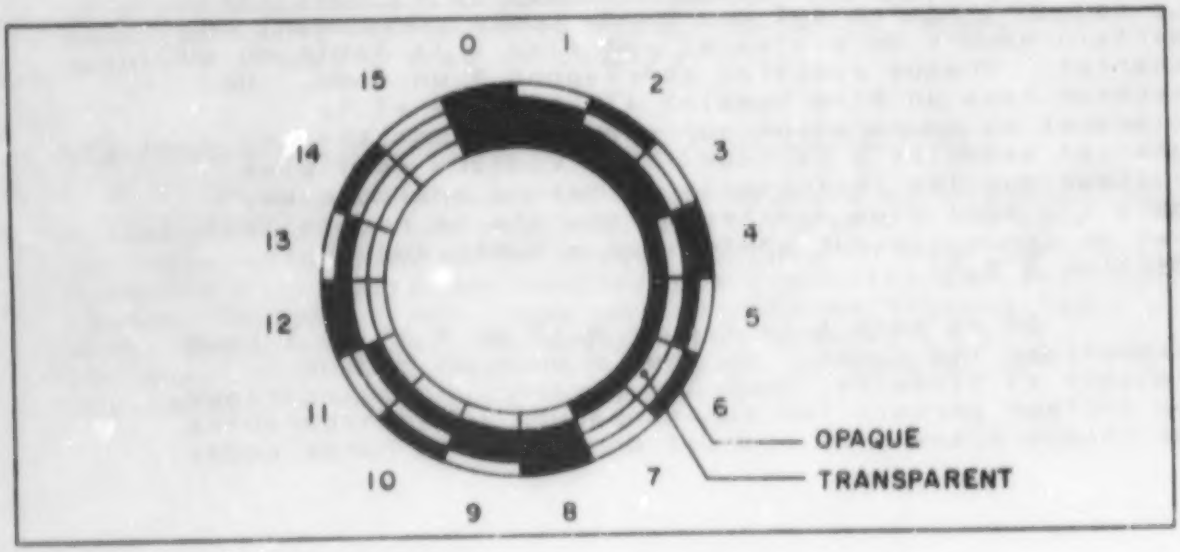


FIGURE 3.13 CODEUR ROTATIF À 4 PISTES

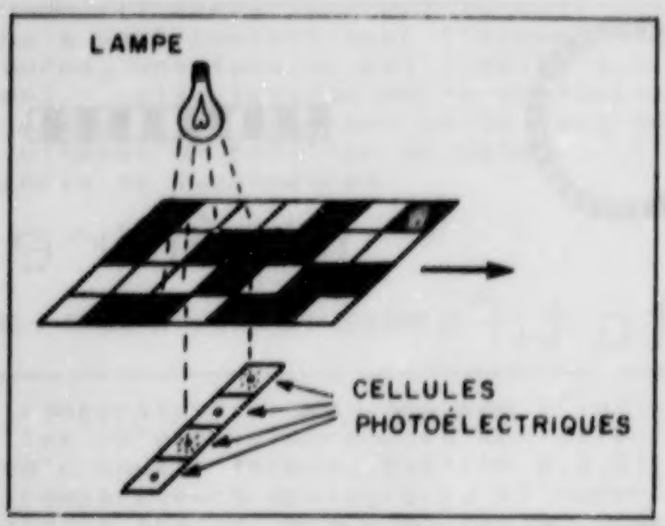


FIGURE 3.14 SCHÉMA DU PRINCIPE DE LA LECTURE PHOTOÉLECTRIQUE

Ce type de codeur permet des lectures rapides, ne s'use pas, mais a pour inconvénient que son fonctionnement dépend de la fiabilité de la lampe. Il existe d'autres genres de codeurs.

LES IMPULSEURS (PHOTOÉLECTRIQUES POUR LA PLUPART)

Il y a alternance de zones opaques et transparentes sur une règle ou sur un disque. Lorsque la règle se déplace ou le disque tourne, un compteur dénombre les impulsions électriques produites par les rayons lumineux d'une lampe qui passent au travers les zones transparentes. Ce système est simple, mais quelques fois le lecteur peut oublier ou ajouter une impulsion, ce qui fausse les résultats.

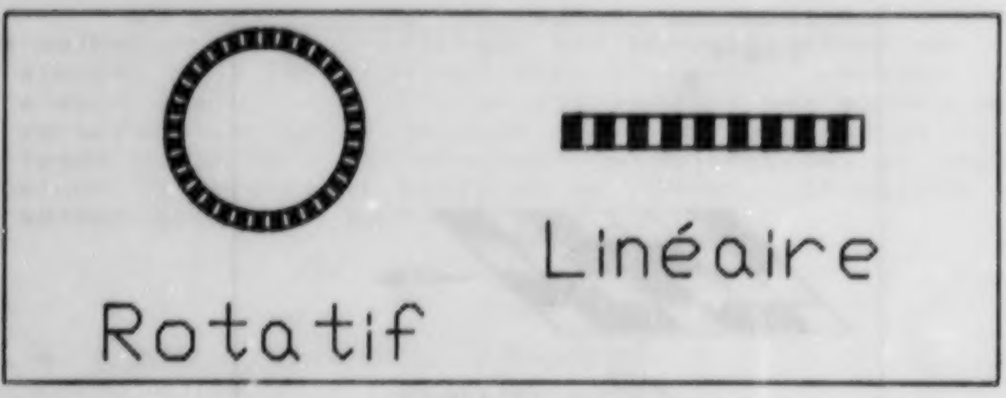


FIGURE 3.15

3.3.3 LES TACHYMÈTRES

Un tachymètre sert à évaluer la vitesse de rotation du moteur. Voici un exemple de tachymètre.

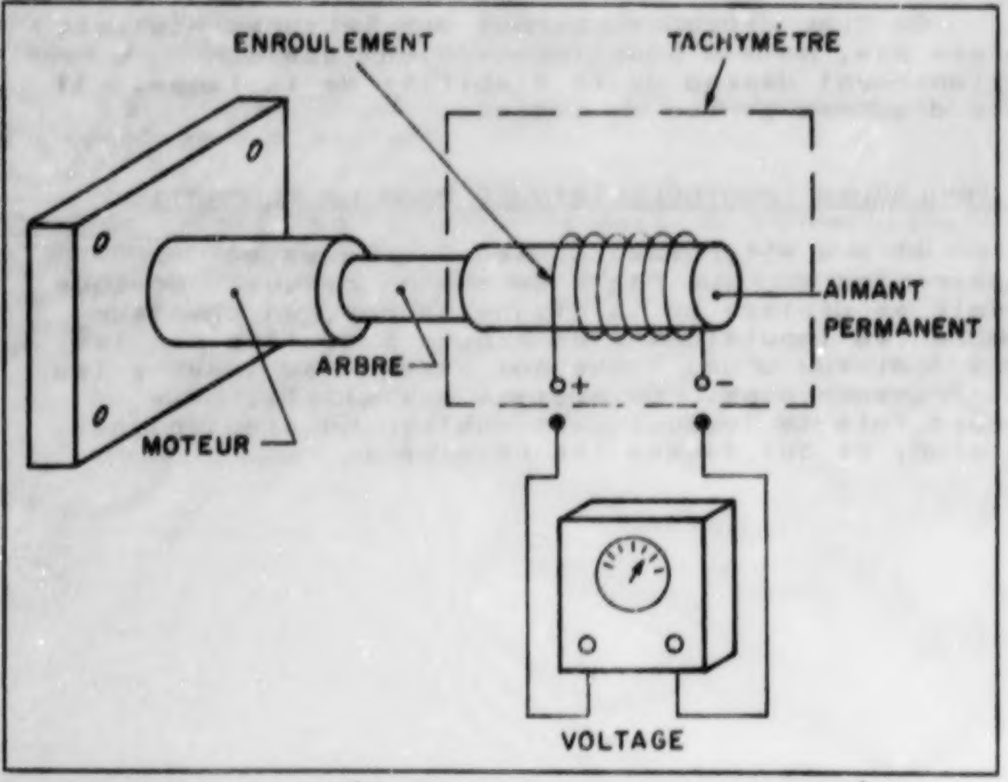


FIGURE 3.16 SCHÉMA DU PRINCIPE D'UN TACHYMÈTRE

Un aimant permanent tourne, accroché à l'arbre du moteur. Un fil électrique est enroulé autour de l'aimant, mais sans contact avec l'aimant. Lorsque l'aimant tourne, une tension est induite aux bornes de l'enroulement. Cette tension varie en fonction de la vitesse du moteur. En mesurant cette tension, on peut évaluer la vitesse de rotation du moteur. Il existe d'autres genres de tachymètres.

3.3.4 LES COMPARATEURS

Un comparateur, comme son nom l'indique, sert à comparer les valeurs programmées aux valeurs mesurées (voir boucle fermée, Section 3.2.3). Il existe des comparateurs analogiques et numériques. Les comparateurs analogiques sont les moins chers, mais les comparateurs numériques sont indispensables pour les calculs d'interpolation (voir Section 3.6).

Si l'instrument de mesure est numérique, il sera avantageux d'utiliser un comparateur numérique, puisque la valeur programmée est numérique.

Si l'instrument de mesure est analogique, il sera avantageux d'utiliser soit:

- un comparateur analogique avec un convertisseur Numérique-Analogique pour transformer la valeur numérique programmée en valeur analogique (voir Figure 3.17A);

- un comparateur numérique avec un convertisseur Analogique-Numérique pour transformer la valeur analogique mesurée en valeur numérique (voir Figure 3.17B).

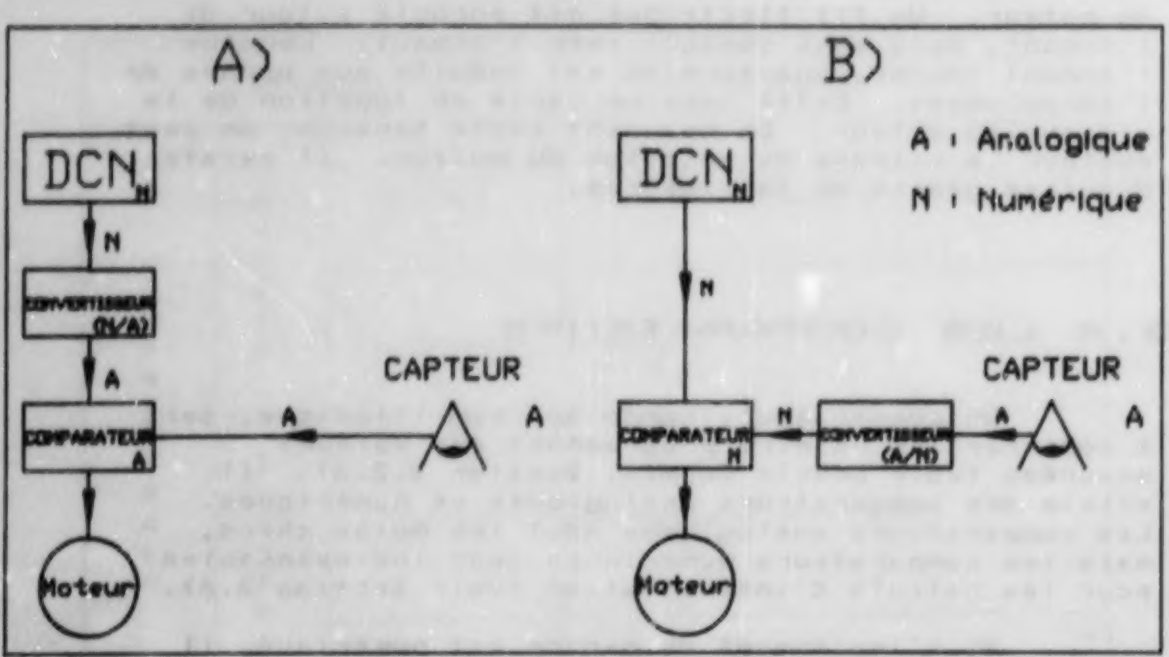


FIGURE 3.17

À la figure 3.17 sont schématisés 2 systèmes servant à positionner le chariot. Pour le contrôle des vitesses, les schémas sont quelque peu différents de ceux montrés ici.

GROUPES			EXEMPLE
Numérique	Absolu	Direct	Codeur linéaire
		Indirect	Codeur rotatif en bout de vis
	Incrémental	Direct	Impulseur linéaire
		Indirect	Impulseur rotatif en bout de vis
Analogique	Absolu	Direct	3 règles inductosyn (grossière, moyenne, fine)
		Indirect	3 résolveurs en bout de vis (grossier, moyen, fin)
	Incrémental	Direct	1 règle inductosyn avec un compteur
		Indirect	1 résolveur en bout de vis avec un compteur

TABLEAU 3.1 LES GROUPES D'INSTRUMENTS DE MESURE

3.4 LES MOTEURS ET LES ACTIONNEURS

Le rôle des moteurs et des actionneurs est de fournir la puissance nécessaire pour déplacer la table ou le chariot, pour faire tourner la broche ou pour provoquer d'autres mouvements tel le changement d'outils automatique.

3.4.1 LES MOUVEMENTS DE LA TABLE ET DU CHARIOT

Les moteurs suivants servent à effectuer les mouvements de translation et de rotation de la table ou du chariot. Ils ne sont donc pas nécessairement utiles pour effectuer un changement d'outils automatique ou pour faire tourner la broche.

LES MOTEURS PAS À PAS

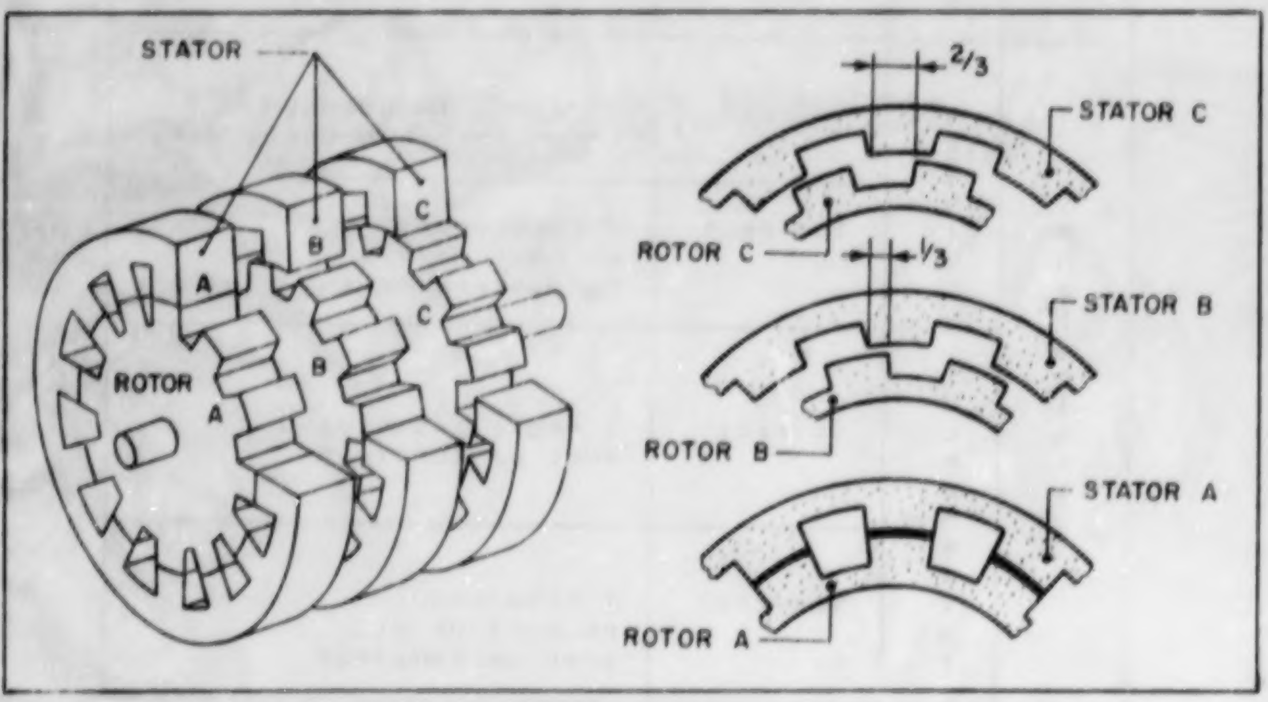


FIGURE 3.18

Ces moteurs reçoivent des impulsions électriques qui se traduisent en fractions de révolution de l'arbre. Ils comprennent des stators fixes et alignés et autant de rotors mobiles et déphasés. Les stators sont excités alternativement et le rotor correspondant s'aligne pendant l'excitation.

Un système travaillant avec un moteur pas à pas est peu coûteux puisqu'il travaille la plupart du temps en boucle ouverte, soit sans capteur et tachymètre. La puissance fournie par un tel moteur est relativement faible.

Les moteurs pas à pas peuvent décrocher (sauter un pas) s'ils sont soumis à des accélérations ou des vitesses trop grandes. Ils sont sujets à vibrer puisque le changement de pas s'effectue brusquement.

LES MOTEURS ÉLECTRIQUES À COURANT CONTINU

Ces moteurs sont très utilisés en commande numérique, surtout pour du contournage en boucle fermée (voir Section 3.6.2). Ils offrent une gamme de vitesse étendue et la puissance fournie peut être appréciable.

Ils sont coûteux à cause des systèmes électroniques de conversion de puissance qu'il faut leur accoupler. Leur poids élevé est le principal inconvénient.

LES MOTEURS HYDRAULIQUES

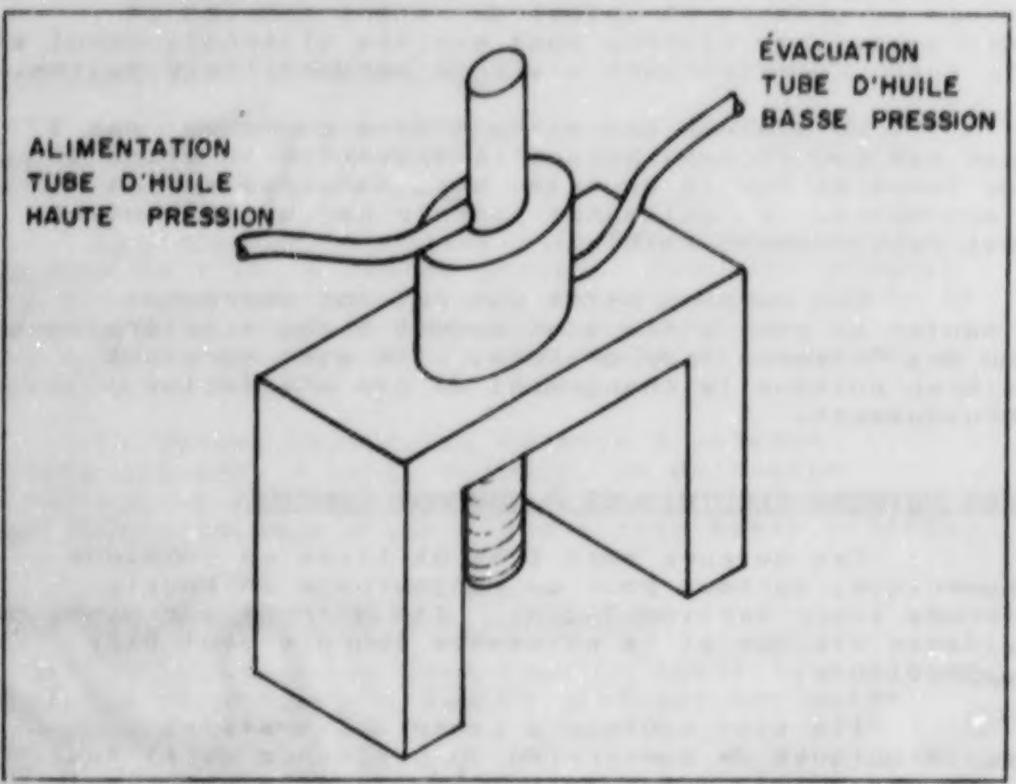


FIGURE 3.19

Ils sont généralement à pistons, commandés par une servo-valve. Le fluide utilisé est généralement de l'huile. La puissance fournie par ces moteurs est grande par rapport aux moteurs électriques, c'est pourquoi ils sont très utilisés pour les grosses MOCN.

Ils répondent rapidement à cause de leur faible inertie et ils ont une gamme de vitesse étendue. L'huile doit être purifiée constamment, elle est polluante et amène parfois des fuites.

3.4.2 LA ROTATION DE LA BROCHE

LES MOTEURS À VITESSE VARIABLE

La broche d'une MOCN doit couvrir une large plage de vitesse et atteindre ces vitesses avec une précision relativement grande.

Les moteurs à vitesse variable sont ceux qui répondent le mieux à ces exigences. Avec les progrès de la science, ces moteurs ont une plage de vitesse de plus en plus grande, si bien que, aujourd'hui, certains peuvent souvent couvrir toute la plage de vitesse de la broche.

Le défaut majeur des moteurs à vitesse variable est que, à basse vitesse, la puissance fournie par le moteur est faible; ceci rend presque impossible l'usinage d'une pièce à très basse vitesse.

LE SYSTÈME MOTEUR - BOÎTE D'ENGRENAGE

Si le moteur ne peut couvrir toute la plage de vitesse de la broche, il faudra utiliser une boîte d'engrenage.

Supposons qu'une broche doit couvrir la plage de vitesse de 60 à 6000 RPM et que le moteur qui entraîne cette broche ne peut couvrir avec un entraînement direct que la plage de 60 à 600 RPM. Nous pourrons à l'aide d'un système d'engrenage de rapport 1:10 utiliser ce moteur pour couvrir la plage de 600 à 6000 RPM.

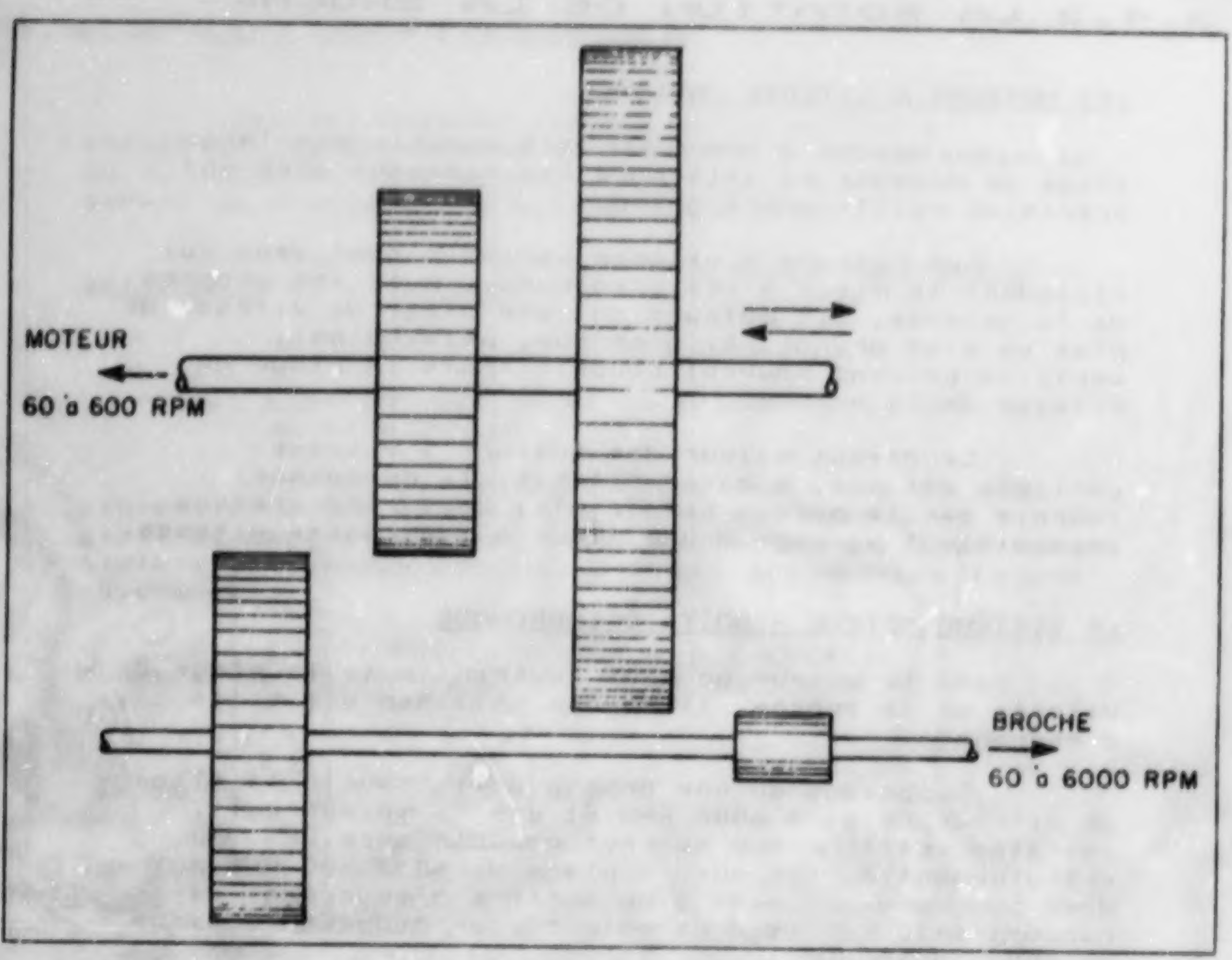


FIGURE 3.20

LES MOTEURS À VITESSE CONSTANTE

Un moteur à vitesse constante, combiné avec un système de poulies ou avec une boîte d'engrenage évoluée, peut couvrir une large plage de vitesse de rotation de la broche.

Ces moteurs sont moins coûteux que des moteurs à vitesse variable, mais le système de poulies ou d'engrenage s'il est précis sera très coûteux. Les MOCN de qualité ne sont pas munies de moteur à vitesse constante pour faire tourner la broche.

3.4.3 LES ACTIONNEURS

Les actionneurs servent entre autres à effectuer les mouvements de translation et de rotation de la table ou du chariot. De plus, ils peuvent servir au changement d'outils automatique.

Il faut bien comprendre la différence entre un actionneur et un moteur.

- Le moteur dirige l'actionneur.
- L'actionneur donne la puissance au chariot ou à la broche.

Tous les genres de moteurs décrits plus haut peuvent être des moteurs-actionneurs. Mais dans certains cas, on peut utiliser des moteurs électriques (faible puissance) pour diriger des actionneurs (forte puissance).

Les actionneurs sont surtout du type hydraulique ou pneumatique et ils sont plus difficiles d'entretien que les moteurs.

LES ACTIONNEURS HYDRAULIQUES

Ils ont les mêmes qualités que les moteurs hydrauliques. L'actionneur pourrait être un verin hydraulique qui assure le mouvement avec une grande puissance, commandé par un moteur électrique. On peut alors comparer l'électricité aux nerfs et l'hydraulique aux muscles. Ce système est coûteux et il faut un centre hydraulique pour fournir l'huile sous pression.

LES ACTIONNEURS PNEUMATIQUES

Ils utilisent de l'air comprimé pour fournir la puissance. L'air comprimé a l'avantage d'être facilement accessible, peu polluant et facile d'entretien. Par contre, l'air n'a pas de pouvoir lubrifiant, est bruyant et l'humidité qu'il contient est corrosive. De plus, la compressibilité de l'air peut diminuer le temps de réponse des organes à une commande donnée.

3.5 LES ORGANES DE TRANSMISSION DE MOUVEMENTS DE TRANSLATION

Les problèmes rencontrés avec l'utilisation d'organes de transmission de mouvements de translation sont...

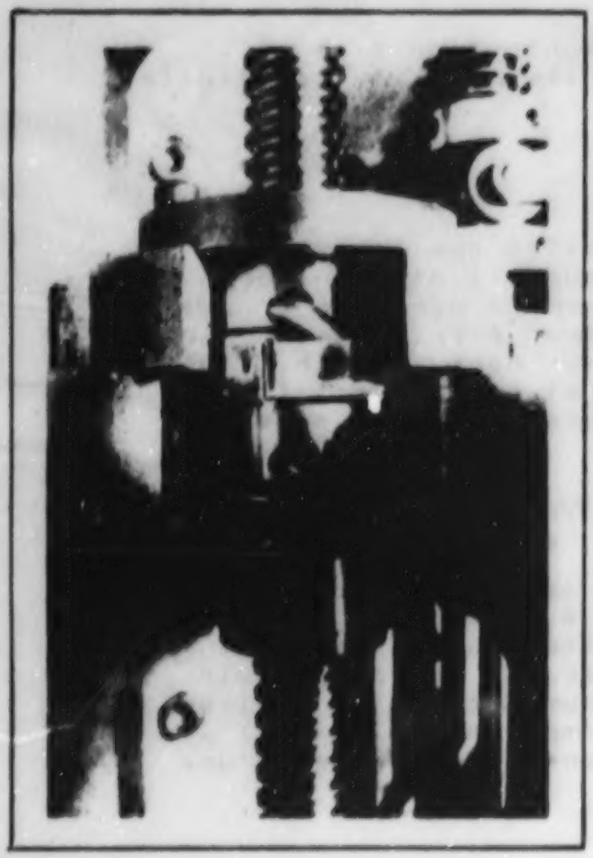
- les frottements,

- les jeux,

- le manque de rigidité des constituants.

Les organes que nous allons décrire sont les organes les plus utilisés en CN puisqu'ils optimisent les 3 problèmes mentionnés précédemment.

3.5.1 L'ÉCROU À BILLES



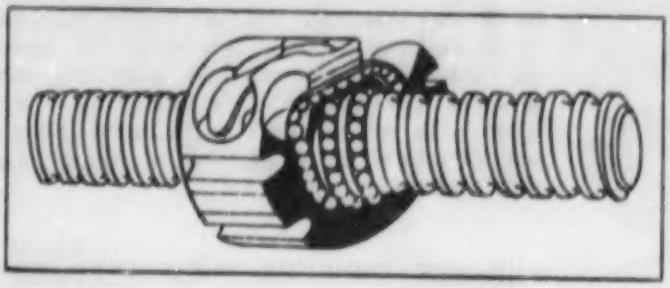


FIGURE 3.21

Une série de billes roulant autour de la vis mère dans les rainures élimine presque totalement les frottements vis-écrou. Le système est fait d'une telle façon que <u>les billes peuvent recirculer</u> indéfiniment autour de la vis. En plaçant deux systèmes d'écrou à billes sur la vis mère et en les serrant l'un contre l'autre au moyen d'une cale rectifiée, on élimine le jeu vis-écrou. Le système d'écrou à rouleaux cylindriques est aussi employé.

Les systèmes d'écrou à billes ou à rouleaux cylindriques sont les systèmes les plus employés en CN.

3.5.2 LA CRÉMAILLÈRE CREUSE À VIS SANS FIN

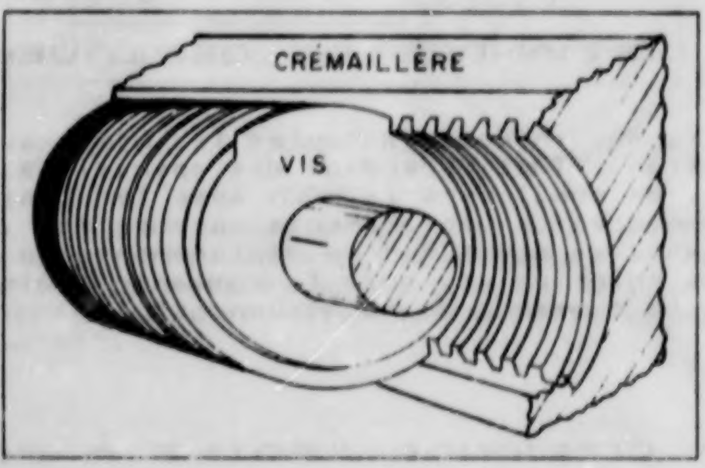


FIGURE 3.22

Lorsque le chariot est soumis à de très grandes forces ou lorsque la course est importante, la vis mère n'est plus appropriée à cause des déformations importantes de la vis. La crémaillère creuse lubrifiée sous pression est alors utilisée, mais ce système est coûteux.

3.5.3 LES GLISSIÈRES

On peut diminuer les frottements en gardant des organes de transmission conventionnels, mais lubrifiés sous pression.

À faible vitesse, tout dépendant de la pression de l'huile, de sa viscosité et de l'état de surface des matériaux, les 2 pièces en mouvement l'une par rapport à l'autre collent l'une contre l'autre. On appelle ce phénomène "petit bond". Ce phénomène est encore plus important pour les glissières. Pour minimiser l'ampleur de ce phénomène, les fabricants utilisent des matériaux spéciaux très glissants qu'ils placent entre la glissière et la contre-glissière.

Ils utilisent aussi quelques fois des glissières munies de patins à rouleaux cylindriques ou à billes.

3.6 LES COMMANDES DE DÉPLACEMENT

Les MOCN n'ont pas toutes les mêmes qualités de conception. Tout dépendant des opérations à effectuer, on construira la MOCN avec les constituants et les commandes de déplacements appropriés. L'on peut diviser les commandes de déplacements en 2 catégories principales, soit la commande "Point à Point" et la commande de "Contournage".

3.6.1 LA COMMANDE "POINT À POINT"

Lors d'opérations de perçage, il est important que l'outil se positionne au bon endroit, mais la trajectoire employée par l'outil pour se rendre à cet endroit n'a que peu d'importance.

En point à point, les déplacements se font en avance rapide et l'usinage n'a lieu que lorsque l'outil se trouve à la position programmée. Donc, on ne peut pas fraiser une pièce à l'aide de la commande "point à point".

Les déplacements peuvent être de 2 ordres:

A) suivant 1 axe, puis l'autre axe (voir trajet 1 et 3, Figure 3.23);

B) suivant les 2 axes simultanément à la même vitesse jusqu'à ce qu'une des cotes soit atteinte et puis suivant 1 axe pour atteindre la position programmée (voir trajet 2, Figure 3.23).

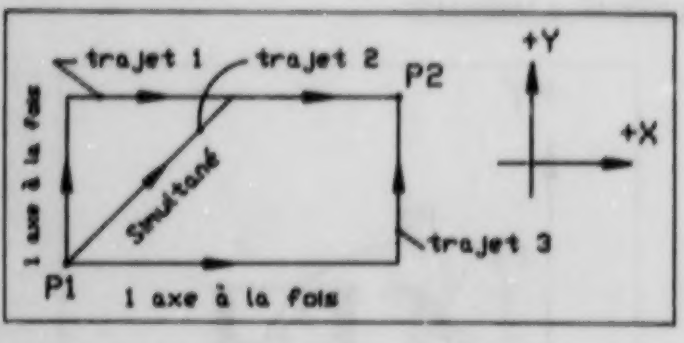


FIGURE 3.23

Un moteur à vitesse non réglable peut très bien faire l'affaire ici et ce type de moteur est peu dispendieux. Les moteurs pas à pas travaillant en boucle ouverte sont très utilisés avec la commande "point à point".

3.6.2 LA COMMANDE DE "CONTOURNAGE" OU "CONTINU"

Le déplacement d'un point à un autre s'effectue suivant une trajectoire imposée. Les moteurs doivent donc fonctionner simultanément et à des vitesses synchronisées précisément et variables. Si un moteur n'a pas la bonne vitesse, il y a "dérive" de la trajectoire. Certaines MOCN ont jusqu'à 6 déplacements simultanés. Aujourd'hui, la plupart des MOCN sont fabriquées avec un système de commandes de contournage.

3.6.3 LES INTERPOLATEURS

Un interpolateur est un logiciel qui calcule avec précision la trajectoire de l'outil par rapport à la pièce et les vitesses d'avance suivant chaque axe, lors d'opérations de contournage. Il calcule plusieurs points intermédiaires entre le départ et l'arrivée d'un trajet.

L'INTERPOLATEUR LINÉAIRE

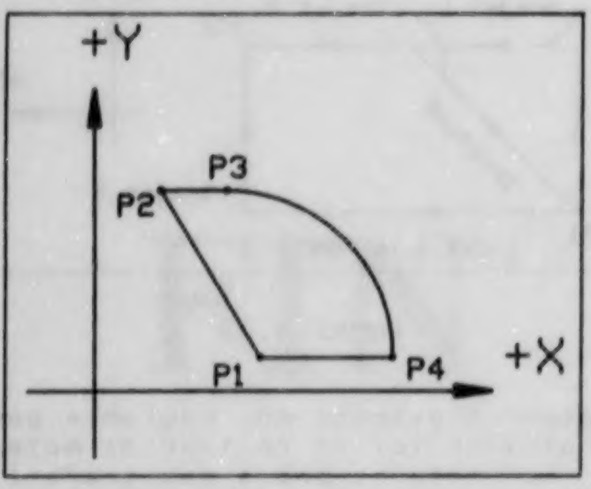


FIGURE 3.24

Pour effectuer du contournage en ligne droite (voir trajet de P1 à P2, Figure 3.24), le programmeur définit les coordonnées des points de départ et d'arrivée ainsi que la vitesse d'avance. L'interpolateur calcule une grande quantité de points intermédiaires servant à trouver la trajectoire de l'outil par rapport à la pièce et il calcule les vitesses d'avance suivant chaque axe. De cette façon on peut usiner suivant une direction quelconque en ligne droite.

EXERCICE:

Trouvez par interpolation linéaire, 4 points intermédiaires également espacés entre P1 et P2. Calculez la vitesse d'avance suivant les axes X et Y si la vitesse d'avance combinée est de 10 po/min. Les dimensions de la figure sont en pouces.

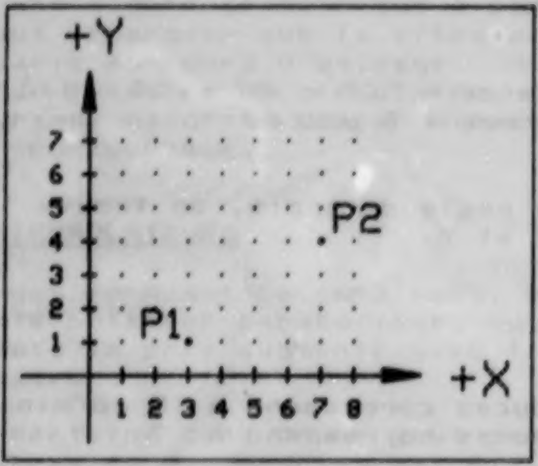


FIGURE 3.25

Solution:

Entre X1=3 et X2=7, il y a 4 points intermédiaires, donc 5 espaces égaux dans 4 pouces (7 - 3 = 4 pouces). L'espacement selon l'axe X entre 2 points est donc de...

$$\frac{4 \text{ pouces}}{5 \text{ espaces}} = .8 \text{ po/espace}$$

Les 4 points intermédiaires se trouvent donc à X = 3.8, 4.6, 5.4 et 6.2 pouces.

On peut à partir des points P1 (3 , 1) et P2 (7 , 4) calculer l'équation de la droite passant par P1 et P2.

On trouve Y = .75 X - 1.25

En substituant les valeurs de X dans l'équation, on trouve les valeurs de Y appropriées.

Les 4 points sont donc ...

E1 (3.8 , 1.6)   E3 (5.4 , 2.8)
E2 (4.6 , 2.2)   E4 (6.2 , 3.4)

Maintenant calculons la distance entre les points P1 et P2.

$$\text{Distance} = \sqrt{(7 - 3)^2 + (4 - 1)^2}$$
$$\text{Distance} = 5 \text{ pouces}$$

Par une règle de trois, on trouve la vitesse suivant l'axe X et Y.

<u>Suivant l'axe X</u>

5 pouces correspond à 10 po/min
4 pouces correspond à ?

d'où la vitesse suivant l'axe X = 8 po/min.

<u>Suivant l'axe Y</u>

5 pouces correspond à 10 po/min
3 pouces correspond à ?

d'où la vitesse suivant l'axe Y = 6 po/min.

<u>L'INTERPOLATEUR CIRCULAIRE</u>

Pour effectuer du contournage d'une forme arrondie (voir trajet de P3 à P4, Figure 3.24), le programmeur définit les coordonnées des points de départ et d'arrivée de l'arc de cercle ainsi que la vitesse d'avance et les coordonnées du centre du cercle.

Certaines MOCN demandent le rayon et le sens de la courbure plutôt que les coordonnées du centre du cercle. L'interpolateur calcule une grande quantité de points intermédiaires servant à trouver la trajectoire de l'outil par rapport à la pièce.

Le cercle est considéré comme un polygone, c'est-à-dire une figure géométrique à plusieurs côtés. Il faut remarquer que la vitesse d'avance des moteurs varie en cours d'usinage. Avec l'interpolateur linéaire et circulaire, on peut résoudre la grande majorité des problèmes courants d'usinage par contournage.

LES AUTRES INTERPOLATEURS

Pour des formes très complexes, on peut utiliser l'interpolateur parabolique, du 3e degré, 4e degré, etc, mais le prix augmente avec la complexité de l'interpolateur.

Dans certains cas, on ne peut pas ramener les formes des pièces en des modèles mathématiques (ex.: aile d'avion). Il faut alors que le programmeur définisse lui-même une grande quantité de points et qu'il les unisse avec l'emploi de l'interpolateur le plus approprié.

CHAPITRE 3

CONSTITUANTS TECHNOLOGIQUES D'UNE MOCN

TRAVAUX

---

1 - Les instruments de mesure suivants sont-ils...

- analogiques ou numériques?
- absolus ou incrémentaux?
- directs ou indirects?
- linéaires ou rotatifs?

A) Un résolveur

B) Un codeur

C) Un impulseur

N.B. Certains instruments de mesure peuvent être dans les 2 groupes.

Ex.: Un codeur peut être soit linéaire soit rotatif. Il faut, dans ce cas, indiquer que les 2 réponses sont possibles.

2 - Nommez un instrument utilisé en CN pour mesurer la vitesse des organes en mouvement?

3 - Avec un système en boucle fermée, si l'instrument de mesure utilisé est analogique est-il approprié...

A) d'utiliser un convertisseur Numérique-Analogique?

B) d'utiliser un convertisseur Analogique-Numérique?

C) de n'utiliser aucun convertisseur?

4 - Placez les 3 types de moteur suivants en ordre croissant de puissance.

A) Le moteur pas à pas.

B) Le moteur électrique à courant continu.

C) Le moteur hydraulique.

5 - Quel est le moteur couramment utilisé avec un système travaillant en boucle ouverte?

6 - Quel type de moteur a un défaut majeur à basse vitesse? Et quel est-il?

7 - Quelle est la différence entre un moteur et un actionneur?

8 - Nommez le phénomène qui fait que 2 organes en mouvement l'un par rapport à l'autre collent l'un à l'autre?

9 - Votre patron vous demande d'acheter une MCN qui ne servira qu'à percer des trous. Un vendeur vous offre 2 MCN. L'une munie d'un système de commande "point à point". L'autre munie d'un système de commande de "contournage". Laquelle de ces 2 MCN pourra effectuer le travail demandé?

A) Celle munie d'un système de commande "point à point"?

B) Celle munie d'un système de commande de "contournage"?

C) Les 2 machines à commande numérique?

D) Aucune des 2 machines à commande numérique?

10 - Votre patron vous demande maintenant d'acheter une MCN pour découper des plaques d'acier au chalumeau pour faire des silhouettes de personnage. Laquelle des 2 MCN du problème précédent pourra effectuer le travail demandé?

11 - Trouvez, par interpolation linéaire, 3 points intermédiaires également espacés entre P1 et P2. Calculez la vitesse d'avance suivant les axes X et Y si la vitesse d'avance combinée est de 150 mm/min. Les dimensions de la figure sont en centimètres.

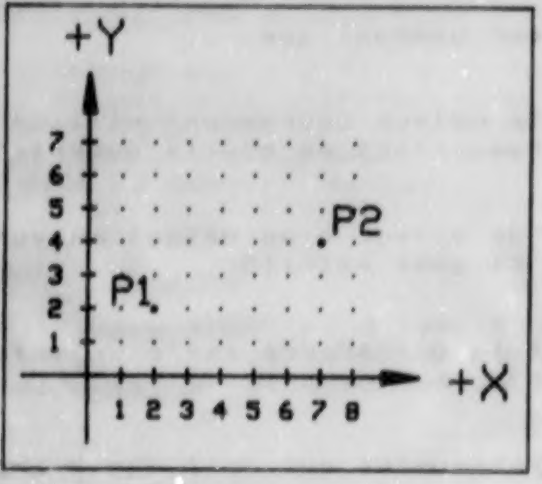


FIGURE 3.A

--- CHAPITRE 1 ---

L'INTRODUCTION DE PROGRAMMES DANS LA MOCN

Dans ce chapitre, nous allons étudier les principales façons d'introduire le programme pièce et le logiciel (dit programme interprète) dans le DCN.

Le programmeur qui a préparé le manuscrit d'un programme pièce ou qui doit introduire un programme interprète dans la MOCN pourrait utiliser divers équipements pour que ses programmes se retrouvent sous forme binaire dans la mémoire du DCN.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Familiariser l'élève avec les différents supports d'informations utilisés en CN ainsi que les différentes méthodes d'introduction de données dans la MOCN.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre l'élève devrait être capable de...

    - différencier le programme pièce du programme interprète;
    - décomposer et convertir des nombres binaires;
    - différencier les principaux supports d'informations;
    - reconnaître les différentes façons d'introduire les programmes dans la MOCN;
    - décrire les codes de perforations EIA et ISO;
    - déchiffrer une bande perforée en code EIA et ISO;
    - appliquer les notions théoriques ci-haut mentionnées au matériel présent dans l'atelier.

4.1 LES 2 SORTES DE PROGRAMMES

Il faut différencier les 2 sortes de programmes qu'une MOCN accepte généralement: le programme pièce et le programme interprète. Ce dernier fournit au DCN toute l'intelligence nécessaire à son bon fonctionnement.

Le programme pièce est une série d'instructions permettant l'usinage d'un type de pièce en particulier. Un atelier d'usinage où se fabriquent des pièces sur des équipements à CN créera la plupart du temps ses propres programmes pièces.

Le programme interprète est une série d'instructions complexes permettant de simplifier, jusqu'à un certain point, la tâche du programmeur. Un interpolateur, par exemple, est une section de programme interprète (voir Section 3.5.3).

Les programmes interprètes qui sont plus généraux que les programmes pièces sont créés par le constructeur du DCN et distribués à l'atelier d'usinage sous une forme acceptable par la MOCN. La tendance actuelle est que les programmes interprètes soient logés en permanence dans la mémoire du DCN lors de l'achat ou de l'installation de la MOCN.

4.2 LE SYSTÈME DES NOMBRES BINAIRES

Le DCN d'une MOCN étant en fait un ordinateur ne peut comprendre que des langages binaires, c'est-à-dire des phénomènes à 2 états stables: 0 et 1, voltage >0 et =0, champ magnétique >0 et =0, etc. Mais comment la MOCN peut-elle reconnaître des commandes puis effectuer des mouvements aussi diversifiés, à des vitesses variables et dans une direction quelconque?... En combinant une série de phénomènes à 2 états stables.

Exemple: Avec 1 chiffre binaire, on a une possibilité de 2 nombres différents. Avec 3 chiffres binaires, on a une possibilité de 8 nombres différents (2x2x2=8).

POSSIBI-LITÉS	1er,	2e,	3e chiffre binaire.	
1	0	0	0	(On représente les 2 états par des 0 et des 1.)
2	0	0	1	
3	0	1	0	
4	0	1	1	
5	1	0	0	(3 chiffres binaires donnent une possibilité de 8 nombres différents.)
6	1	0	1	
7	1	1	0	
8	1	1	1	

TABLEAU 4.1

4.2.1 DÉCOMPOSITION D'UN NOMBRE

On peut faire un parallèle entre le système des nombres binaires et le système que l'on connait bien, le système des nombres décimaux. On peut, avec 10 signes (1,2,3,4,5,6,7,8,9,0), écrire une infinité de nombres. Les nombres décimaux se décomposent en unités, dizaines, centaines, etc. Les nombres binaires peuvent aussi se décomposer.

DÉCIMAL	BINAIRE	(binaire	ou décimal)
249	1101		
$2 * 10^2 = 200$	$1 * 2^3 =$	1000	8
$4 * 10^1 = 40$	$1 * 2^2 =$	100	4
$9 * 10^0 = 9$	$0 * 2^1 =$	00	0
	$1 * 2^0 =$	1	1

N.B. Un nombre à l'exposant zéro vaut toujours 1, exception faite du nombre zéro lui-même.

Ex.: $2^0 = 1$
$10^0 = 1$

4.2.2 COMMENT COMPTER AVEC LES NOMBRES BINAIRES?

Avec les nombres décimaux, pour additionner 1 unité à un nombre, on augmente de 1 unité le chiffre le plus à droite.

148 + 1 = 149

Lorsque le chiffre le plus à droite est 9, on le ramène à 0 et on augmente le chiffre à sa gauche de 1. Si le chiffre à sa gauche est 9, on le ramène à 0 et on augmente de 1 le chiffre à la gauche de ce dernier et ainsi de suite.

149 + 1 = 150

1999 + 1 = 2000

Le décompte des nombres binaires fonctionne de la même façon. Pour additionner 1 unité à un nombre, on augmente de 1 unité le chiffre le plus à droite.

11000 + 1 = 11001

Lorsque le chiffre le plus à droite est 1, on le ramène à 0 et on augmente le chiffre à sa gauche de 1. Si le chiffre à sa gauche est 1, on le ramène à 0 et on augmente de 1 le chiffre à la gauche de ce dernier et ainsi de suite.

11001 + 1 = 11010

10111 + 1 = 11000

Voici un tableau des nombres décimaux et binaires de 1 à 16.

DÉCIMAL	BINAIRE	DÉCIMAL	BINAIRE
1	1	9	1001
2	10	10	1010
3	11	11	1011
4	100	12	1100
5	101	13	1101
6	110	14	1110
7	111	15	1111
8	1000	16	10000

TABLEAU 4.2

4.2.3 COMMENT CONVERTIR LE NOMBRE BINAIRE 11010 EN NOMBRE DECIMAL?

Le chiffre le moins significatif est multiplié par 2^0, le 2e chiffre le moins significatif est multiplié par 2^1, le 3e par 2^2, le 4e par 2^3 et le 5e par 2^4.

BINAIRE	DÉCIMAL	DÉCIMAL	DÉCIMAL
10000	1 * 2^4	1 * 16	16
1000	1 * 2^3	1 * 8	8
000	0 * 2^2	0 * 4	0
10	1 * 2^1	1 * 2	2
0	0 * 2^0	0 * 1	+ 0
			26

En additionnant les résultats des produits, on obtient la valeur du nombre décimal. Le nombre binaire 11010 est égal au nombre décimal 26.

Rappelez vous qu'il y a une différence entre décomposer un nombre binaire et convertir un nombre binaire en nombre décimal. Mais pour convertir un nombre binaire en nombre décimal, il faut d'abord décomposer ce nombre binaire.

4.2.4 COMMENT CONVERTIR LE NOMBRE DÉCIMAL 143 EN NOMBRE BINAIRE?

A) On divise le nombre décimal par 2, autant de fois qu'il est nécessaire jusqu'à ce que le quotient (résultat de la division) soit 0, en indiquant bien à la droite de la division, le reste de cette division.

```
143 / 2 = 71   reste  1  <--- CMS  (le Chiffre le
                                     Moins
                                     Significatif)
 71 / 2 = 35   reste  1
 35 / 2 = 17   reste  1
 17 / 2 =  8   reste  1
  8 / 2 =  4   reste  0
  4 / 2 =  2   reste  0
  2 / 2 =  1   reste  0
  1 / 2 =  0   reste  1  <--- CPS  (le Chiffre le
                                     Plus
                                     Significatif)
```

B) Le nombre binaire peut se lire en groupant le reste de chaque division du bas vers le haut.

```
( 1 0 0 0 1 1 1 1 )
 CPS           CMS
```

4.3 LES FAÇONS D'INTRODUIRE LES PROGRAMMES DANS LA MOCN

Les programmes pièces écrits en langage machine-outil sont constitués de chiffres, de lettres et de caractères de ponctuation. En d'autres mots, il s'agit de caractères alphanumériques. D'un autre côté, la mémoire du DCN n'accepte que des nombres binaires (des 0 et des 1). Il faut donc qu'il y ait à un moment donné une transformation des programmes pièces.

4.3.1 INTRODUCTION MANUELLE

Une des façons d'introduire le programme pièce dans le DCN est que le programmeur l'entre caractère par caractère et ligne par ligne par l'intermédiaire du clavier alphanumérique du DCN. Les programmes ainsi introduits en langage machine-outil sont transformés par le DCN lui-même en langage binaire.

Cette méthode d'introduction du programme pièce est longue et peu productive puisque, pendant que le programmeur entre les informations, la MOCN ne peut produire de pièces (ceci est vrai pour la plupart des MOCN). De plus, sur certaines MOCN, s'il y a une panne de courant, le programme pièce devra être réintroduit, puisqu'il sera effacé de la mémoire du DCN. La méthode d'introduction manuelle de programmes n'est pratique que pour introduire des programmes pièces très simples ou pour corriger des programmes pièces.

4.3.2 PAR L'INTERMÉDIAIRE D'UN SUPPORT D'INFORMATIONS

La bande perforée

Le programme (pièce ou interprète) est traduit en langage codé sur une bande de papier, de mylar (une sorte de plastique) et/ou d'aluminium. La bande perforée est lue par un lecteur et les données sont envoyées après un décodage sous forme binaire dans la mémoire du DCN où elles seront prêtes à être exécutées.

Les trous perforés sur la bande correspondent à un code qui représente le programme. Les perforations et les espaces non perforés sont les 2 états du système des nombres binaires. Chaque ligne correspond à un caractère du programme (G, M, 3, 6, ., *, etc.).

La bande est opaque pour que la lumière provenant de la lampe d'un lecteur photoélectrique ne puisse passer que par les perforations de la bande. La bande comprend 8 pistes d'informations et une piste d'entraînement avec des perforations plus petites. Elle mesure 1 pouce de largeur et contient 10 lignes d'informations par pouce de longueur.

La MOCN peut relire la bande perforée plusieurs fois pour la fabrication de séries de pièces identiques à des moments différents, mais la même bande ne peut pas être réutilisée pour y inscrire un nouveau programme. Malgré les progrès dans les domaines de l'électronique et des communications, la bande perforée est même aujourd'hui le support d'informations le plus répandu dans l'industrie utilisant la technologie de la CN.

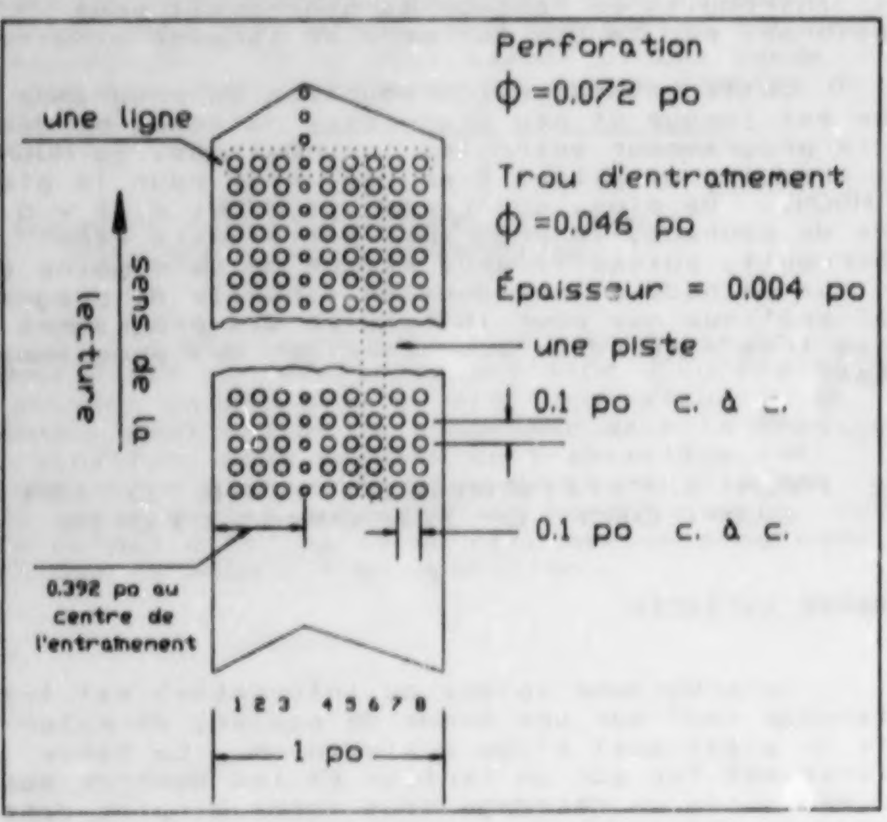


FIGURE 4.1 BANDE PERFORÉE À 8 PISTES UTILISÉE EN CN

La bande magnétique

La bande magnétique est une bande sur laquelle des zones bien précises sont magnétisées ou non magnétisées. Elle utilise un code qui peut ressembler à celui d s bandes perforées. Souvent on se sert de cassettes fonctionnant d'après le même principe que les cassettes enregistreuses pour un magnétophone, mais la qualité d'enregistrement doit être supérieure puisqu'une seule information erronée pourrait causer un bris de la MOCN ou la fabrication de mauvaises pièces. Un autre type de cassette parfois utilisé en CN est le "data cartridge".

La bande magnétique est réutilisable, c'est-à-dire qu'on peut y effacer un programme et y inscrire un autre programme. Elle a une plus grande densité d'informations que la bande perforée et prend peu d'espace de rangement. Il pourrait être avantageux d'utiliser la bande magnétique pour la fabrication de pièces complexes. Les zones magnétiques de la bande attirent les poussières ferreuses, ce qui abîme le revêtement de la bande. Les défauts sont très difficiles à détecter sur une bande magnétique. On ne peut savoir si une bande magnétique est détériorée sans un examen complet de cette bande.

4.3.3 PAR L'INTERMÉDIAIRE D'UN ORDINATEUR

Il y a plusieurs façons d'introduire un programme pièce ou interprète à l'aide d'un ordinateur (très souvent un micro ou un mini-ordinateur). Un programmeur peut entrer le programme dans la mémoire d'un ordinateur, pour ensuite le transmettre par l'intermédiaire d'une interface de communication (RS-232 par exemple) à la MOCN au moment voulu. Cette méthode permet d'écrire et de corriger un programme pendant que la MOCN est en opération.

Aussi, il existe des logiciels d'informatique appelés des simulateurs qui permettent au programmeur de détecter les erreurs du programme pièce sans accaparer la MOCN. Le programmeur peut aussi utiliser un langage symbolique (APT par exemple) et l'ordinateur traduira le programme pièce en langage machine-outil, pour ensuite l'introduire dans le DCN sous forme binaire au moment voulu. Certains ordinateurs sont reliés à une perforatrice et les programmes peuvent être transmis à la MOCN par l'intermédiaire de la bande perforée.

Dans certaines grosses compagnies, toutes les MOCN sont reliées en permanence à un ordinateur central qui peut gérer les programmes, soit décider quelle MOCN fabriquera telle série de pièces et à quel moment. Cette façon de procéder s'appelle la DNC (Commande Numérique Directe). Le système informatisé utilisé est parfois le système principal de l'usine qui s'occupe en même temps de l'administration de la compagnie. Il envoie et reçoit des informations aux MOCN. Avec un ordinateur, on élimine les frais de préparation de la bande, on supprime les lecteurs, les bandes, etc. Grâce à l'interface qui relie l'ordinateur à la MOCN, les informations arrivent au DCN déjà sous forme binaire.

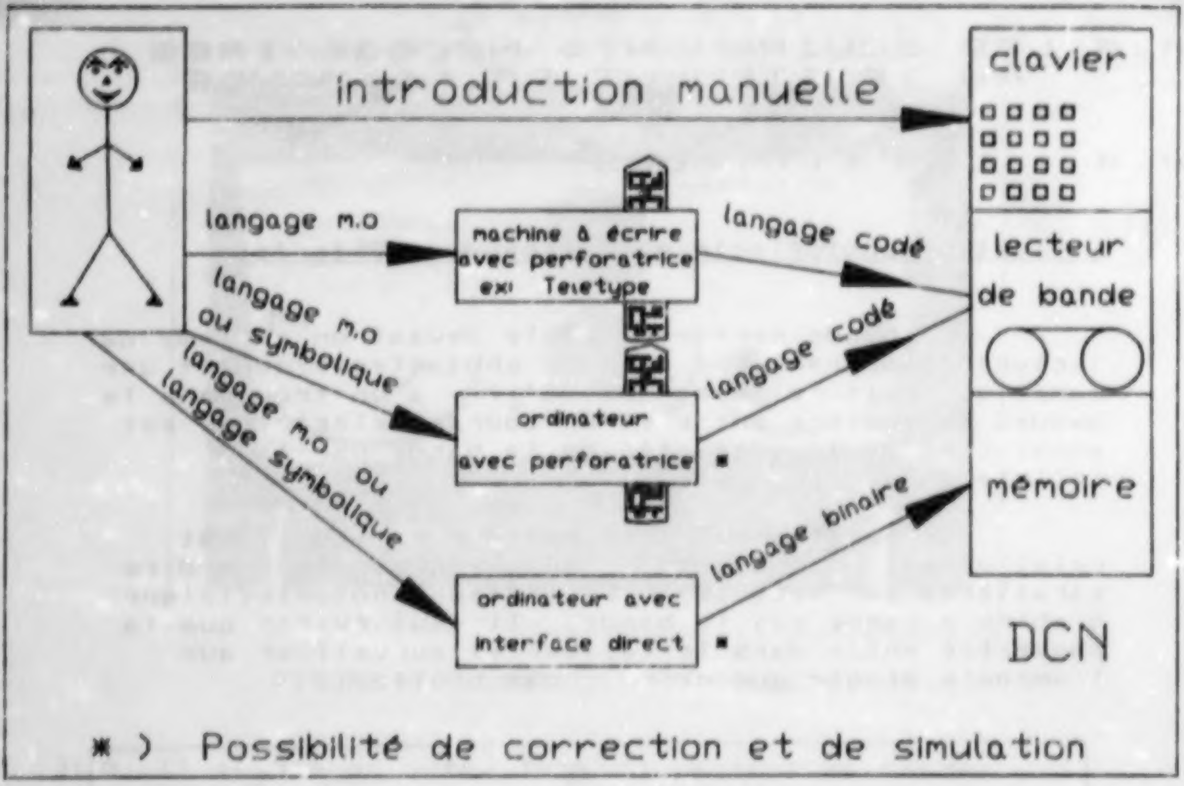


FIGURE 4.2 LES FAÇONS D'INTRODUIRE LES PROGRAMMES

Il y a 2 méthodes pour transférer des informations d'un ordinateur à une MOCN et réciproquement.

<u>Le transfert en série</u>

Cette méthode est utilisée surtout lorsque l'ordinateur est éloigné de la MOCN puisque le coût des connections électriques en série est peu élevé. Cette distance, par contre, ne doit pas dépasser 15 mètres environ. L'interface la plus répandue pour le transfert en série est l'interface RS-232.

<u>Le transfert en parallèle</u>

Cette méthode est utilisée surtout lorsque les quantités d'informations à transférer sont grandes puisque cette méthode est rapide. Mais le coût élevé des connections électriques en parallèle est un obstacle important. La distance entre les 2 appareils doit être d'environ 3 mètres au plus.

4.4 LES ÉQUIPEMENTS NÉCESSAIRES AU TRAITEMENT DE LA BANDE

4.4.1 LES LECTEURS

Le lecteur photoélectrique de bandes perforées

La bande perforée défile devant un système de lecture comprenant une cellule photoélectrique et une lampe qui éclaire la bande. S'il y a un trou dans la bande, la lumière passe et un courant électrique est ainsi créé de l'autre côté de la bande par la cellule photoélectrique.

Ce système est très employé puisqu'il est relativement rapide (100 à 1000 lignes, c'est-à-dire caractères par seconde). Le lecteur photoélectrique n'abîme presque pas la bande. Il faut éviter que la poussière entre dans le lecteur et surveiller que l'ampoule électrique ne soit pas brûlée.

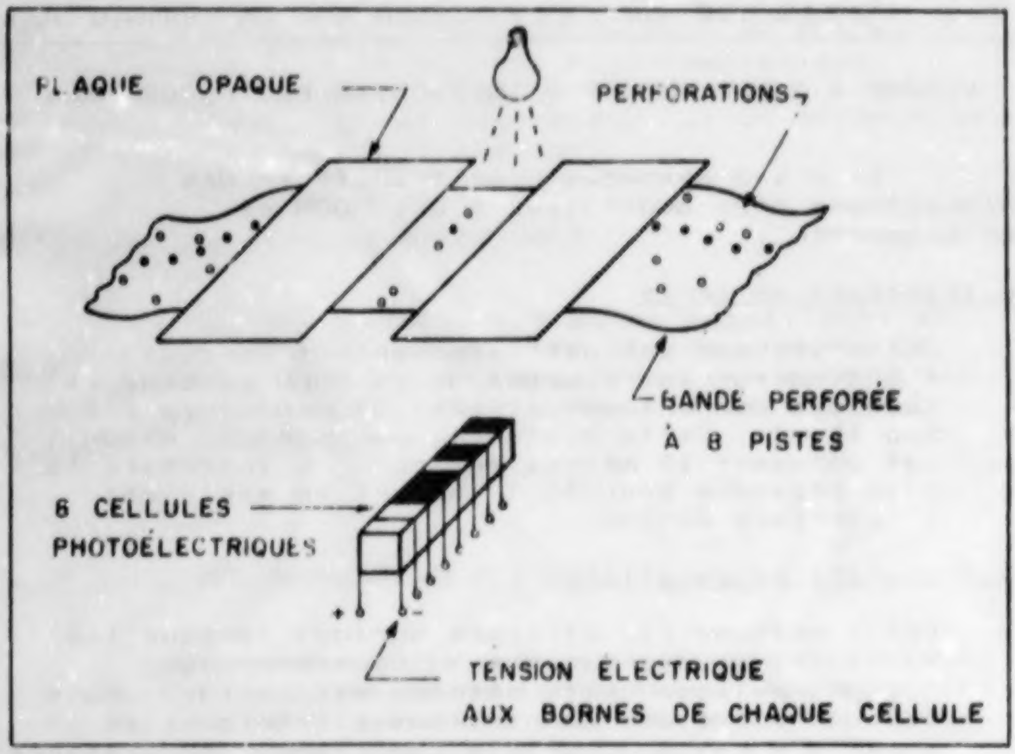


FIGURE 4.3

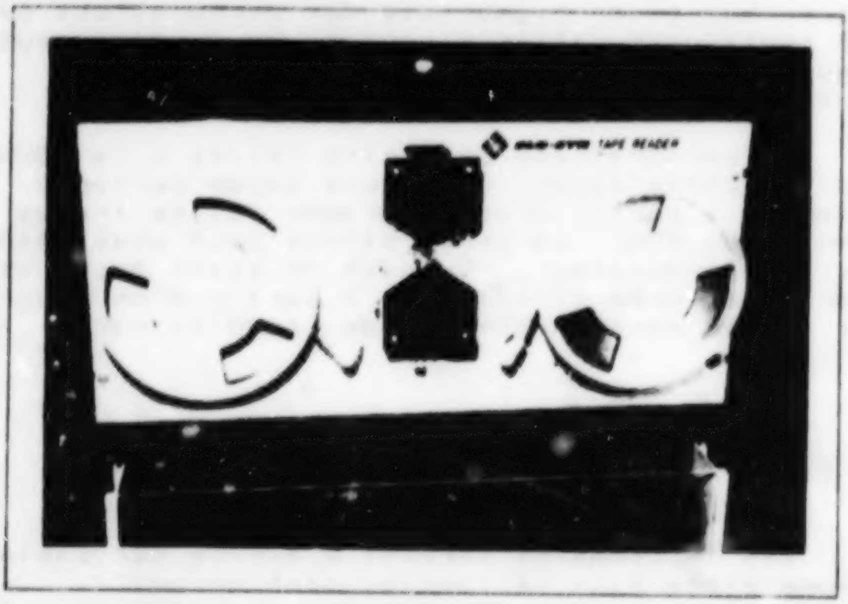


FIGURE 4.4 LECTEUR PHOTOÉLECTRIQUE

N.B. Il existe un autre type de lecteur de bandes perforées soit le lecteur électromécanique. Ce lecteur n'est presque plus utilisé aujourd'hui. C'est pour cette raison qu'on n'en traite pas dans cet ouvrage.

<u>Le lecteur de bandes magnétiques</u>

Ce lecteur détecte les zones magnétiques et non magnétiques de la bande. Il lit de l'ordre de 50000 lignes, c'est-à-dire caractères par seconde et il n'use pas la bande Par contre, il est très <u>sensible à la poussière</u>.

4.4.2 LA PERFORATRICE

Les perforatrices servent à trouer les bandes qui seront introduites dans le lecteur. Souvent, les perforatrices sont aussi des reproductrices de bandes. On peut ainsi garder la bande originale en lieu sûr et distribuer des copies pour l'usinage.

Après perforation de la bande, il faudra effectuer une étude rigoureuse des perforations parce qu'une seule perforation manquante ou de trop peut provoquer un bris très grave de la MOCN lors de l'usinage.

La perforatrice peut être reliée à la MOCN. On peut de cette façon, créer une bande perforée directement à partir d'un programme qui se trouve dans la mémoire du DCN. La perforatrice peut aussi être reliée à un ordinateur. On peut de cette façon créer une bande perforée directement à partir d'un programme qui se trouve dans la mémoire de l'ordinateur.

4.4.3 L'IMPRIMANTE

Les imprimantes servent à écrire sur papier un programme pièce dans le langage machine-outil. Certaines imprimantes sont reliées directement à la MOCN; d'autres, directement à l'ordinateur. Certains programmeurs préfèrent corriger leurs programmes pièces sur un bout de papier plutôt que sur l'écran du DCN ou de l'ordinateur.

Le langage machine-outil étant un langage très facile à étudier et le papier étant un support d'informations peu encombrant, ce support d'informations est très utilisé pour la communication entre 2 personnes. Il existe de vieux systèmes où la perforatrice et l'imprimante sont un seul et même équipement (Teletype par exemple).

FIGURE 4.5

4.5 LES CODES DE PERFORATION

Il existe 2 codes de perforation utilisés en CN, soit le code EIA (Electrical Industries Association) et le code ISO (International Standard Organisation).

4.5.1 LE CODE EIA

Nous savons qu'une bande perforée a 8 pistes. Avec le code EIA, les pistes 1, 2, 3, 4, 6 et 7 servent au transport du programme.

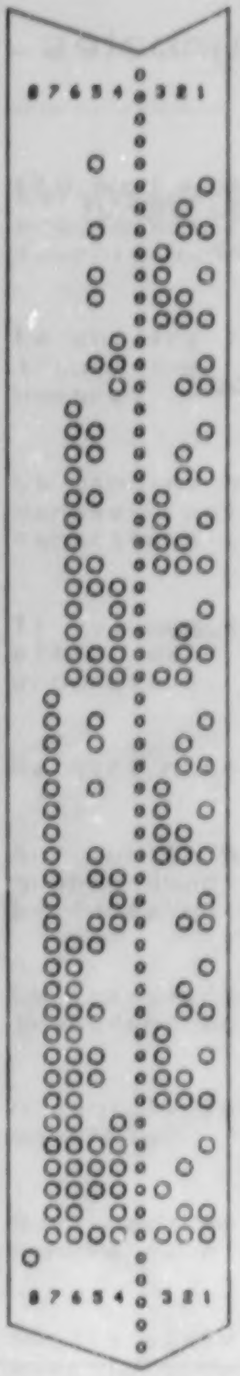
La piste 8 sert à indiquer la fin du bloc. Nous verrons plus loin la définition d'un bloc, mais pour l'instant, disons que la piste 8 indique la fin du bloc comme le point indique la fin de la phrase.

La piste 5 sert à contrôler l'imparité. C'est-à-dire que s'il y a 0, 2, 4 ou 6 perforations sur une ligne, aux pistes 1 à 4 et 6 à 8, un autre trou sera perforé à la piste 5 pour donner 1, 3, 5 ou 7 perforations. S'il y a déjà 1, 3, 5 ou 7 perforations sur une ligne, la piste 5 ne sera pas perforée. Avec le code EIA, on a donc toujours un nombre impair de perforations sur chacune des lignes. De cette façon, un lecteur humain ou un appareil de lecture peut vérifier si le nombre de perforations par ligne est pair ou impair et déceler qu'il y a un problème de perforation dès qu'il rencontre un nombre pair de perforations.

4.5.2 LE CODE ISO OU ASCII

Les pistes 1 à 7 servent au transport du programme et la piste 8 contrôle la parité. Donc s'il y a 1, 3, 5 ou 7 perforations sur une ligne aux pistes 1 à 7, la piste 8 est perforée pour donner 2, 4, 6 ou 8 perforations. La tendance actuelle est à l'emploi du code ISO. C'est le code utilisé en informatique. Il a comme désavantage de demander un plus grand nombre de perforations que le code EIA, ce qui augmente le risque d'erreur et diminue la résistance de la bande.

CODE EIA

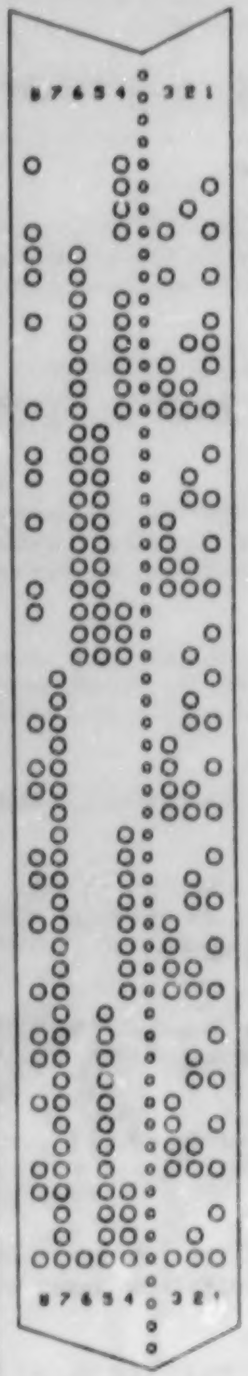


Liste des symboles

ruban non perforé
espace
1
2
3
4
5
6
7
8
9
début ou fin du fichier
0
/ omission de bloc
S
T
U
V
W
X
Y
Z
recul d'un espace
, virgule
tabulation
- moins
J
K
L
M
N
O
P
Q
R
% début du programme
+ plus
A
B
C
D
E
F
G
H
I
minuscule
majuscule
. point
caractère annulé
retour du chariot, fin de bloc

TABLEAU 4.3

CODE ISO



Liste des symboles

ruban non perforé
recul d'un espace
tabulation
fin de bloc, avance d'une ligne (LF)
fin de bloc, retour du chariot
espace
% début du programme
contrôle inactif
contrôle actif
+ plus
- moins
. point
/ omission de bloc
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
: rebobinage optionnel
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O
P
Q
R
S
T
U
V
W
X
Y
Z
caractère annulé

TABLEAU 4.4

CHAPITRE 4

L'INTRODUCTION DE PROGRAMMES DANS LA MOCN

TRAVAUX

---

1 - Est-ce que ce sont les programmes pièces ou les programmes interprètes qui sont généralement fournis par le constructeur d'une MOCN?

2 - Le chiffre le moins significatif (CMS) se trouve-t-il à la gauche ou à la droite du nombre?

3 - La mémoire du DCN n'accepte qu'une seule forme de données, est-ce les nombres binaires ou les caractères alphanumériques?

4 - Il y a une façon d'introduire les programmes pièces dans le DCN qui est longue et peu productive, laquelle?

5 - De quel matériel est composée la bande perforée?

6 - Sur quelle bande peut-on emmagasiner la plus grande quantité d'informations? Sur la bande perforée ou sur la bande magnétique?

7 - Le transfert en série est plus rapide que le transfert en parallèle. Vrai ou Faux?

8 - À quoi le lecteur de bandes magnétiques est-il sensible?

9 - Quel code de programmation donne toujours un nombre pair de perforations par ligne?

10 - Quelle piste contrôle la parité ou l'imparité avec le code EIA?

11 - Décomposez les nombres décimaux suivants:

427 , 1731 , 1010

ATTENTION! décomposer ne veut pas dire convertir.

12 - Décomposez les nombres binaires suivants:

101 , 1010 , 11011

13 - Convertissez le nombre binaire 10011 en nombre décimal et faites la vérification de vos calculs en convertissant le nombre décimal obtenu en nombre binaire.

Le nombre binaire obtenu est-il le même que celui donné au début du problème?

14 - Convertissez le nombre décimal 1427 en nombre binaire et faites la vérification de vos calculs en convertissant le nombre binaire obtenu en nombre décimal.

Le nombre décimal obtenu est-il le même que celui donné au début du problème?

15 - Convertissez le nombre décimal 74294 en nombre binaire et faites la vérification de vos calculs en convertissant le nombre binaire obtenu en nombre décimal.

16 - En vous référant à la figure 4.A et aux lettres associées à une partie bien spécifique de la figure, répondez aux questions suivantes.

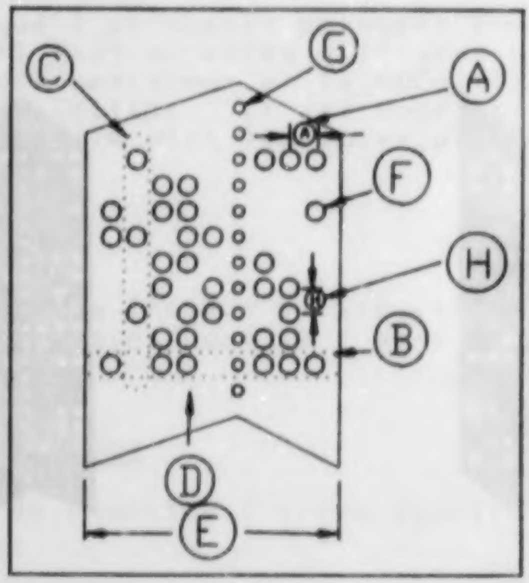
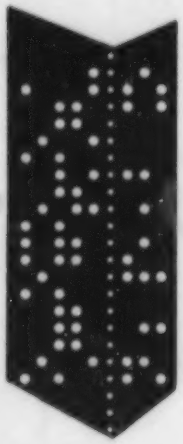


FIGURE 4.A

A) Quelle est la dimension A?
B) La zone pointillée en B représente-t-elle une piste, une bande ou une ligne?
C) La zone pointillée en C représente-t-elle une piste, une bande ou une ligne?
D) Quel est le numéro de la piste D?
E) Quelle est la dimension E?
F) Quel est le diamètre de la perforation F?
G) Quel est le diamètre de la perforation G?
H) Quelle est la dimension H?
I) Le code utilisé est-il le code ISO ou EIA?

17 - Voici 2 sections de bande perforée.

-- 1 --



-- 2 --

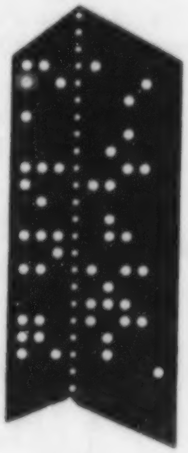


FIGURE 4.B

A) Identifiez ces programmes. Sont-ils écrits en code EIA ou ISO?
B) Écrivez ces programmes en langage machine-outil. Ex.: G71 W+0.01...

18 - Reproduisez une bande perforée identique à celle qui a été identifiée à votre nom. La bande vous sera remise par votre professeur.

A) Trouvez s'il s'agit d'un programme écrit avec le code EIA ou ISO.
B) Écrivez sur papier le programme en langage machine- outil.
C) Perforez une bande en langage machine-outil.
D) Faites la comparaison des deux bandes perforées.

--- CHAPITRE 5 ---

LA PROGRAMMATION MANUELLE

Pour que 2 personnes puissent communiquer entre elles, il faut qu'elles utilisent un langage commun. Entre l'opérateur et la MOCN, il s'établit aussi une communication. Il est donc essentiel que l'opérateur assimile bien les codes perceptibles par la MOCN.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Faire apprendre à l'élève la structure d'un programme pièce ainsi que le repère des coordonnées des MOCN.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre l'élève devrait être capable de...
    - comprendre la structure d'un programme pièce;
    - différencier les 3 principaux formats de blocs d'informations;
    - identifier les différentes origines;
    - distinguer les axes principaux des différentes MOCN;
    - distinguer les mouvements de translation additionnels ainsi que les mouvements de rotation;
    - appliquer les notions théoriques ci-haut mentionnées au matériel présent dans l'atelier.

5.1 LA STRUCTURE

Le langage qu'utilise l'opérateur et la MOCN n'est pas un langage parlé comme ceux qu'utilisent les humains, mais un langage écrit, constitué de caractères alphanumériques. Ce langage est appelé "LANGAGE MACHINE-OUTIL" (à ne pas confondre avec le langage binaire de l'ordinateur qui peut s'appeler langage machine interne). Il faut que l'opérateur apprenne bien ce langage pour communiquer avec la MOCN.

Si j'écris "PSERHA TECTE UT MOCNPERDS .", je ne crois pas que quelqu'un comprenne ce que j'ai écrit. Si j'écris "PHRASE CETTE . COMPRENDS TU", je ne crois pas non plus que quelqu'un comprenne ce que j'ai écrit. Mais si j'écris "TU COMPRENDS CETTE PHRASE.", tous vont comprendre le sens de ma phrase. Pourquoi?... parce que les caractères de chaque mot sont dans le bon ordre (CETTE et non TECTE), les mots de la phrase sont dans le bon ordre (CETTE PHRASE et non PHRASE CETTE) et le point qui indique la fin de la phrase est situé au bon endroit.

La programmation manuelle, elle aussi exige une certaine cohérence pour que le DCN comprenne bien ce que veut dire le programmeur. Tout comme les langages employés par les humains, le langage machine-outil est constitué de caractères qui sont groupés pour former des mots.

Ensuite, les mots sont groupés pour former des blocs d'informations, l'équivalent de la phrase en langage humain. Un ensemble de blocs d'informations constitue un programme.

Un caractère de fin de bloc indique, comme le point dans la phrase, que le bloc est terminé. Pour certains DCN, le caractère de fin de bloc est un "*", pour d'autres, c'est un ";", un "EOB", etc.

BLOC D'INFORMATIONS

Ensemble de mots qui contient toutes les instructions nécessaires à l'exécution d'une opération élémentaire de la MOCN.

MOT

Ensemble de chiffres et parfois de caractères de ponctuation parfois précédé d'une lettre appelée "adresse" du mot.

```
    :
N310 G00 X-1.0 Y-1.0 *
N320 G01 X+2.0 *
N330 G01 Y+0.0 *
    :
```

Les caractères sont: N, G, Y, +, 0, 2, *,...

Les mots sont: N310, G00, X-1.0, G01,...

Les blocs sont: N320 G01 X+2.0 *,...

Les adresses sont: N, G, X et Y.

Il y a plusieurs façons d'écrire un bloc, soit plusieurs formats de bloc. Une MOCN n'accepte qu'un seul format de bloc, mais toutes les MOCN n'acceptent pas nécessairement le même format de bloc.

Le format de bloc fixe

Le nombre de mots, l'ordre des mots et le nombre de caractères par mot sont fixes. Ce format n'est presque plus utilisé de nos jours.

```
 N    G    X     Y     F
           :
0310 00 -1000 -1000 000
0320 01 +2000 -1000 200
0330 01 +2000 +0000 200
           :
```

Le format de bloc variable à tabulation

L'ordre des mots est fixe. Le nombre de mot et le nombre de caractères par mots sont variables. Un caractère de tabulation (TAB) sépare les mots d'un bloc entre eux. Un symbole indique la fin du bloc, donc sépare les blocs entre eux. Un symbole très utilisé est "EOB" (End Of Block), mais il en existe d'autres.

```
N   TAB G  TAB    X    TAB    Y    EOB
              :
310 TAB 00 TAB -1000 TAB -1000 EOB
320 TAB 01 TAB 2000 EOB
330 TAB TAB TAB +0 EOB
              :
```

Le format de bloc variable à adresse

Le nombre de mots, l'ordre des mots et le nombre de caractères par mot sont variables. Chaque mot a une adresse, c'est-à-dire qu'il y a une lettre au début de chaque mot. Si un mot se répète d'un bloc à l'autre, il peut être omis dans le second bloc.

```
    :
N310 G00 X-1.0 Y-1.0 *
N320 G01 X+2.0 *
N330 Y+0.0 *
    :
```

ATTENTION

- Le nombre de caractères par mot dépend de la MOCN employée.
- Pour écrire 1 pouce dans la direction +X, une MOCN exigera soit X001.0, X1.000, X1., X+1.0, X1000, etc.
- Le signe + peut être omis sur certaines MOCN, mais pas le signe -.
- On peut supprimer les 0 au début et/ou à la fin du nombre sur certaines MOCN employant un format à adresse.

N.B. Avec le format de tabulation, on ne peut pas supprimer les 0 au début et à la fin du nombre simultanément. De 012000, on pourra certaines fois écrire 12000 (suppression de 0 au début du nombre), ou 012 (suppression de 0 à la fin du nombre), mais pas 12 (suppression de 0 au début et à la fin du nombre).

5.2 LE REPÈRE DE COORDONNÉES DES MOCN

Une MOCN se sert d'un système d'axes pour définir les mouvements de l'outil par rapport à la pièce.

5.2.1 LES SYSTÈMES D'UNITÉS DE MESURE

Les unités de mesure employées en CN sont le <u>pouce</u> et le <u>millimètre</u>.

Certaines MOCN ne se programment qu'en pouces; d'autres, qu'en millimètres; mais la plupart des MOCN d'aujourd'hui se programment en pouces et en millimètres au choix de l'opérateur ou du programmeur.

5.2.2 LES ORIGINES Om, Op et Oo

ORIGINE

Point de référence à partir duquel les autres points sont définis.

Sur une MOCN, le constructeur définit une origine appelée origine machine (Om). Sur certaines MOCN, l'opérateur peut à tout moment définir une autre origine appelée origine programme (Op).

<u>L'origine machine (Om)</u>

Le constructeur a défini une origine à un endroit bien précis, (d'habitude aux extrémités des déplacements de la table ou du chariot) appelé "origine machine". Il est impossible pour l'opérateur de modifier l'origine machine, elle est fixée une fois pour toute. La MOCN peut à tout moment retrouver où est située l'origine machine.

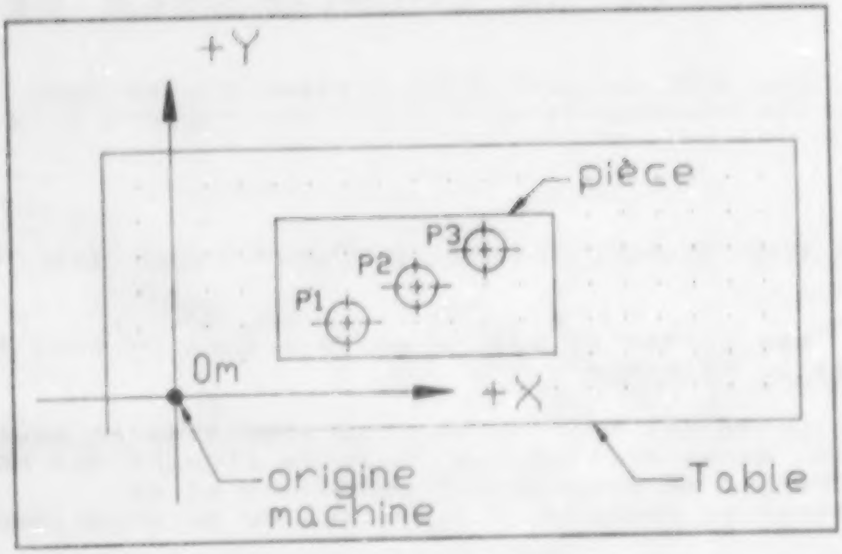


FIGURE 5.1

N.B. Sur certaines MOCN où les butées d'arrêt sont les guides de l'origine machine, il est possible de modifier cette origine machine en déplaçant les butées d'arrêt.

L'origine programme (Op)

Le programmeur, lorsqu'il écrit son programme, ne sait pas toujours où se situe l'origine machine et où sera placée la pièce au moment de l'usinage sur la table de la MOCN. Il prépare donc son programme pièce dans son bureau, sans se soucier de l'origine machine. Il écrit son programme par rapport à une origine, appelée "origine programme", qu'il s'est fixée lui-même.
L'origine programme est souvent représentée par le symbole "⊕".

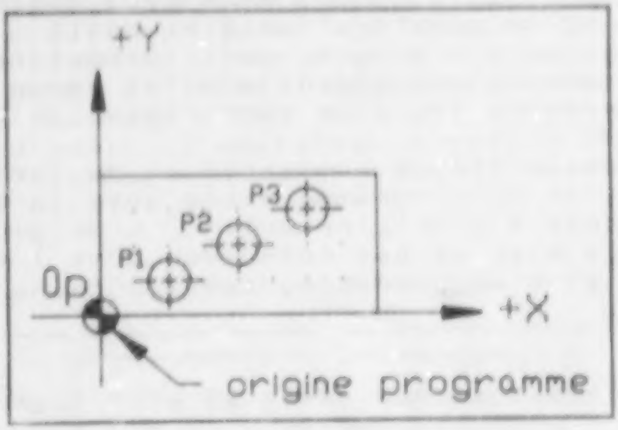


FIGURE 5.2

Lorsque la pièce est installée sur la table, les 2 origines (machine et programme) peuvent très bien ne pas coïncider.

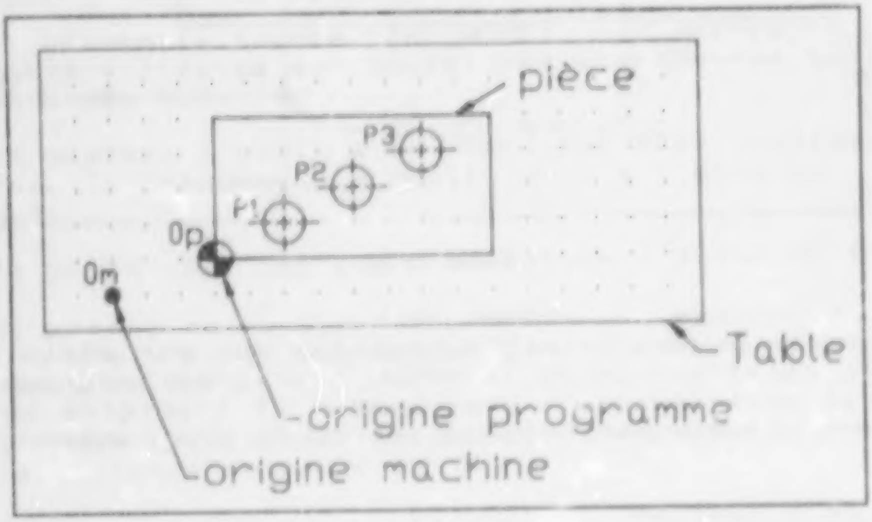


FIGURE 5.3

L'opérateur pourra usiner correctement une pièce disposée sur la table comme le montre la figure 5.3, sans changer le programme pièce établi en fonction de l'origine programme Op.

L'origine outil (Oo)

L'opérateur ou le programmeur peut définir une autre origine appelée l'origine outil. Le retour de la broche à l'origine outil permettra d'effectuer un changement d'outil et/ou un indexage de la tourelle sans risque de collision.

Il est conseillé de commencer et de terminer l'exécution du programme pièce avec la broche positionnée à l'origine outil. L'origine outil peut très bien ne pas coïncider avec l'origine machine et l'origine programme.

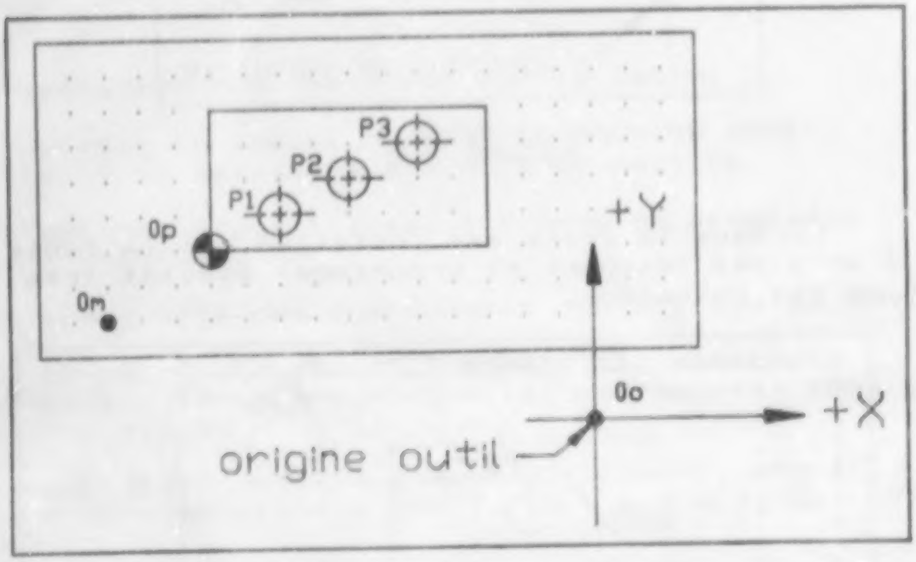


FIGURE 5.4

On a donc l'origine machine qui est définie par le constructeur de la MOCN, l'origine programme qui est définie par le programmeur et l'origine outil qui est définie par l'opérateur ou le programmeur.

Mise en situation

ATTENTION! cette mise en situation n'est valide que pour une fraiseuse verticale munie d'un contrôle "Positool CNC (Autonumeric Inc.)".

Supposons que l'opérateur a besoin de 2 outils pour fabriquer un type de pièce et qu'il veut que le changement d'outil se fasse à l'origine Oo. Il peut après l'opération de l'outil no 1 presser la touche "RETURN TO HOME" et l'outil ira directement en Oo, peu importe où l'usinage s'est terminé. Après le changement d'outil, l'opérateur pressera la touche "START" et le programme continuera de s'exécuter par rapport à l'origine Op.

La procédure pour établir les origines est la suivante.

1 - L'opérateur fixe la pièce sur la table.

2 - Il presse la touche "RETURN TO MACHINE HOME". L'outil se déplacera à l'origine machine.

3 - Il déplace l'outil jusqu'à l'origine programme par "jogging".

4 - Il prend note des coordonnées sur l'écran du DCN.

5 - Il presse la touche "SET HOME". Il apercevra alors à l'écran que toutes les coordonnées sont devenues 0.0.

6 - Il déplace l'outil à un endroit libéré, choisi pour le changement d'outil, soit à l'origine outil.

7 - Il prend note des coordonnées sur l'écran du DCN.

8 - Il presse la touche "SET HOME". Il apercevra alors à l'écran que toutes les coordonnées sont devenues 0.0.

9 - Il faut aussi inscrire dans le programme pièce la distance entre Op et Om.

Exemple: Le constructeur définit les axes X et Y de la façon montrée sur la figure 5.5 pour une fraiseuse verticale à CN.

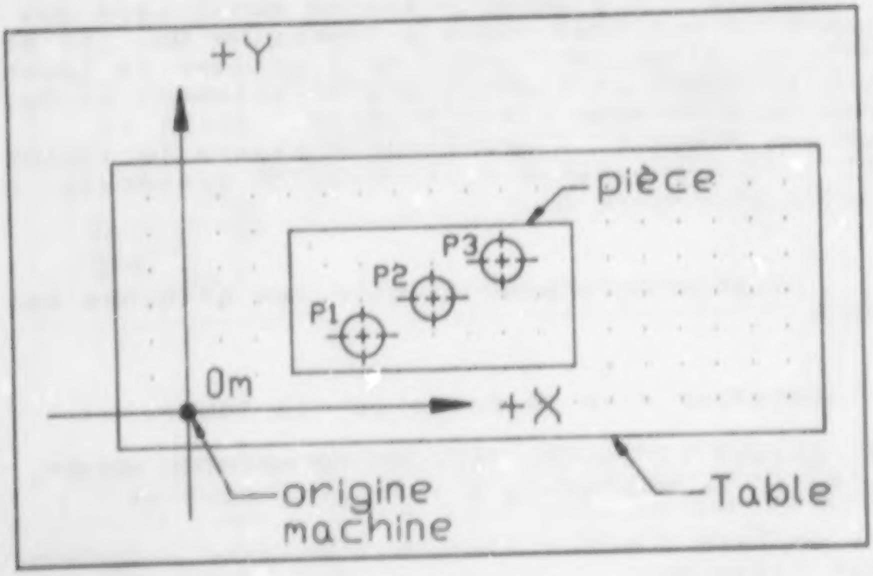


FIGURE 5.5

Le programmeur a établi son programme pièce par rapport aux axes X et Y montrés sur la figure 5.6 dont l'origine est Op.

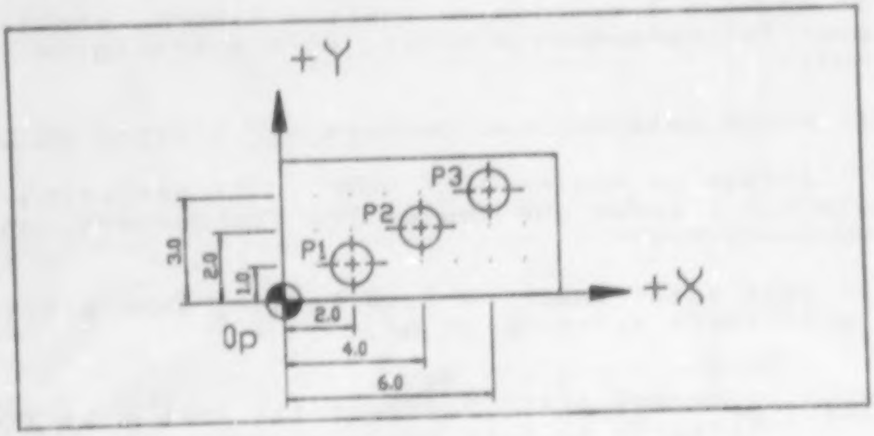


FIGURE 5.6

La pièce est ensuite positionnée sur la table de la fraiseuse (voir Figure 5.7).

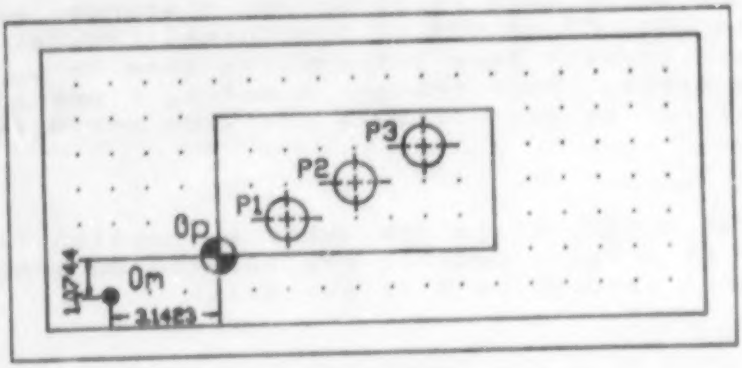


FIGURE 5.7

Le perçage de chaque trou doit se faire en 2 étapes. D'abord avec l'outil no 1 pour centrer le trou et ensuite avec l'outil no 2 pour percer le trou. Le changement d'outil doit se faire au point Oo, montré sur la figure 5.8.

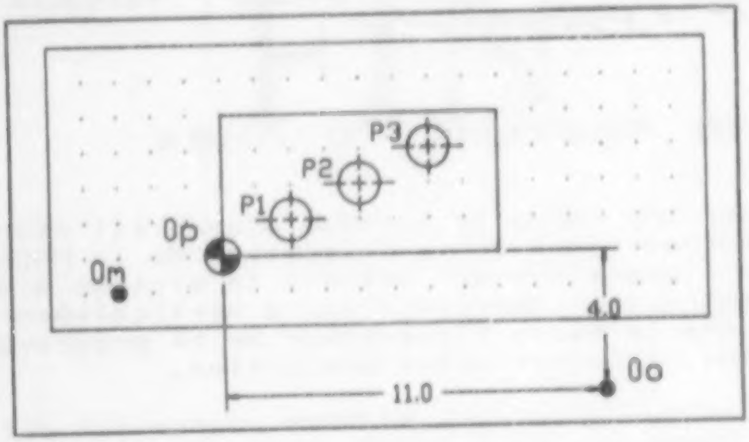


FIGURE 5.8

Si jamais la fraiseuse n'a pas l'option "origine programme et origine outil", une section du programme pièce devra ressembler à ce qui suit (en programmation absolue).

```
        :
N420 X5.1423 Y2.0744 (le foret est positionné en P1)
N430 X7.1423 Y3.0744 (le foret est positionné en P2)
N440 X9.1423 Y4.0744 (le foret est positionné en P3)
        :
```

Quelqu'un doit calculer les distances entre les points (P1, P2 et P3) et l'origine. Toutes ces coordonnées doivent être introduites dans le programme pièce. Pour changer d'outil, l'opérateur devra déplacer ce dernier à la position X=+14.1423 et Y=-2.9256.

Par contre si la fraiseuse a l'option "origine programme et origine outil", une section du programme pièce pourra ressembler à ce qui suit.

```
     :
N420 X2.0 Y1.0 (le foret est positionné en P1)
N430 X4.0 Y2.0 (le foret est positionné en P2)
N440 X6.0 Y3.0 (le foret est positionné en P3)
     :
```

Si l'opérateur a suivi la procédure mentionnée précédemment, la fraiseuse centrera et percera les trous aux bons endroits sur la pièce. Le positionnement pour le changement d'outil pourra se faire à l'aide de la touche "RETURN TO HOME". Personne n'aura à modifier le programme pièce.

5.2.3 LES SYSTÈMES D'AXES

Sur une MOCN, le système d'axes est établi par le constructeur lors de la conception de la MOCN. Ce n'est pas l'opérateur qui définit le système d'axes. Si le constructeur définit l'axe Z verticalement et orienté vers le haut, l'opérateur ou le programmeur ne peuvent que respecter cette définition.

Les constructeurs de MOCN pourraient définir les axes comme bon leur semble (ils en sont capables). Mais, pour faciliter la compréhension de leurs MOCN par les opérateurs et les programmeurs, ils suivent des conventions. On peut facilement comprendre qu'un opérateur qui travaille sur 3 tours de 3 marques différentes préfère la 2e option à la 1re.

Option 1

- L'axe +Z du premier tour est défini comme étant l'axe de la broche et orienté vers la droite.

- L'axe +Z du deuxième tour est défini comme étant l'axe de la broche et orienté vers la gauche.

- L'axe +Z du troisième tour est défini comme étant perpendiculaire à l'axe de la broche et orienté vers l'outil.

Option 2

- L'axe +Z des 3 tours est défini cette fois-ci de la même façon, comme étant l'axe de la broche et orienté vers la droite. Lorsque l'opérateur change de tour, les coordonnées du trajet de l'outil restent les mêmes.

5.2.4 LE SYSTÈME D'AXES D'UN TOUR

Voici un résumé des conventions d'axes pour un tour à CN: l'avant du tour est le côté où un observateur regardant le tour de face, verrait la broche à sa gauche.

Conv. 1 L'axe Z est l'axe de la broche.

Conv. 2 Le sens de l'axe Z est défini par la direction que prendra l'outil s'il s'éloigne de la broche.

Conv. 3 L'axe X est perpendiculaire à l'axe Z et orienté de l'axe de rotation de la broche vers l'outil.

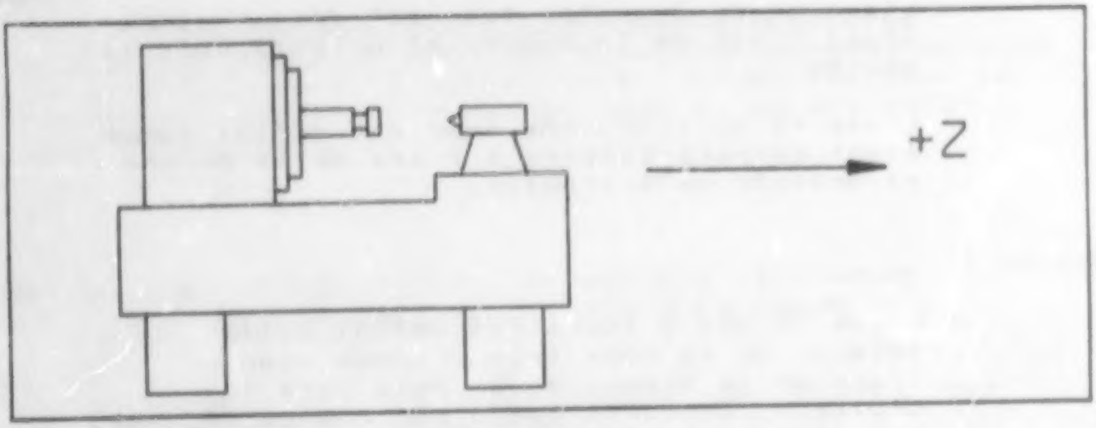


FIGURE 5.9

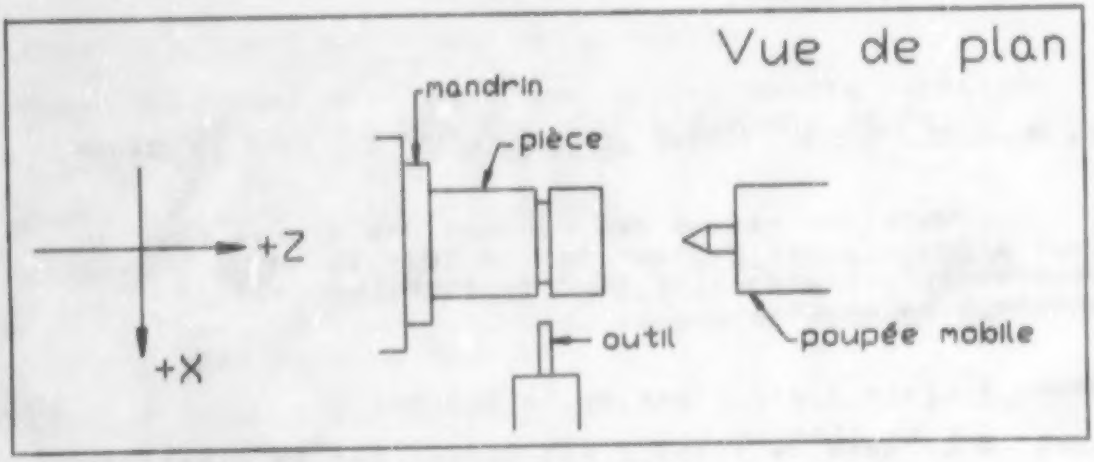


FIGURE 5.10

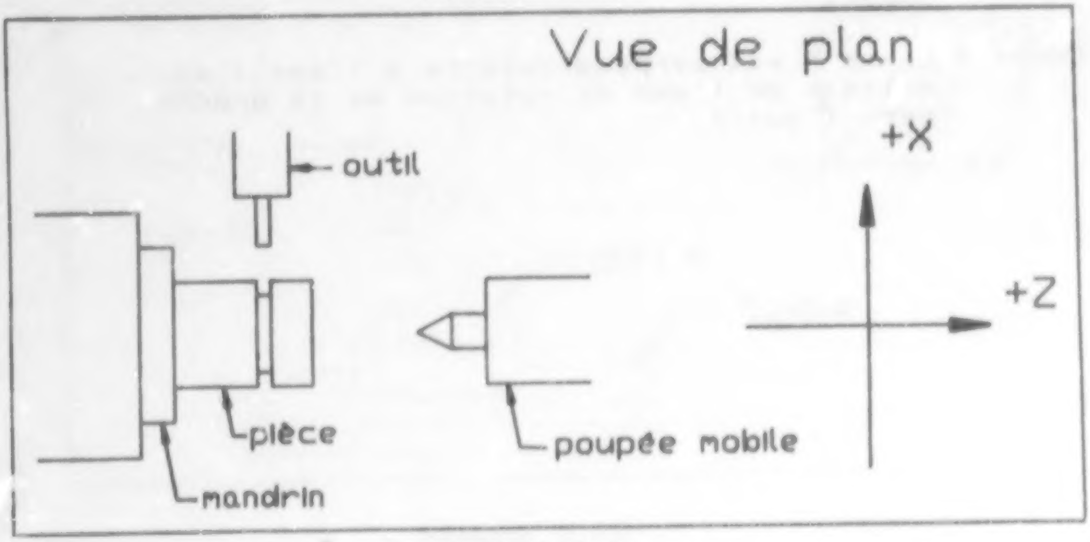


FIGURE 5.11

Sur un tour, ni l'outil ni la broche ne peuvent se déplacer dans une direction perpendiculaire au plan Z-X, soit la direction Y. C'est pourquoi on ne définit pas d'axe Y sur un tour et on dit qu'un tour a 2 axes.

5.2.5 LE SYSTÈME D'AXES D'UNE FRAISEUSE VERTICALE

Voici un résumé des conventions d'axes pour une fraiseuse verticale à CN.

Conv. 1 L'axe Z est l'axe de la broche.

Conv. 2 Le sens de l'axe Z est défini par la direction que prendra l'outil s'il s'éloigne de la pièce, soit vers le haut.

Conv. 3 L'axe X est horizontal.

Conv. 4 L'axe X est défini dans le sens longitudinal de la table. (Dans ce cas-ci, l'axe X est orienté vers la droite lorsqu'on regarde la fraiseuse de face.)

Conv. 5 L'axe Y est perpendiculaire aux axes X et Z. (Dans ce cas-ci, l'axe Y est orienté vers l'arrière de la fraiseuse.)

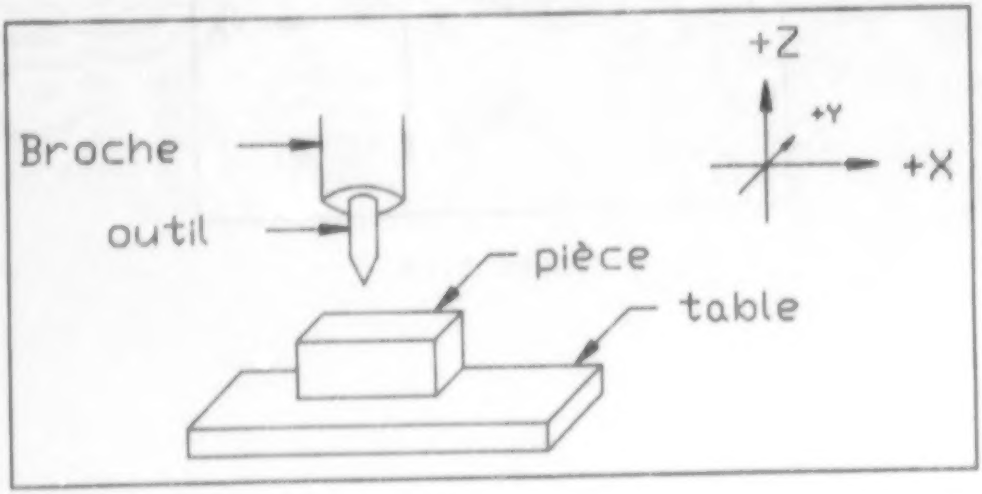


FIGURE 5.12

5.2.6 LE SYSTÈME D'AXES D'UNE FRAISEUSE HORIZONTALE

Voici un résumé des conventions d'axes pour une fraiseuse horizontale à CN.

Conv. 1 L'axe Z est l'axe de la broche.

Conv. 2 Le sens de l'axe Z est défini par la direction que prendra l'outil s'il s'éloigne de la pièce. (Dans ce cas-ci, l'axe Z est orienté vers l'arrière de la fraiseuse.)

Conv. 3 L'axe X est horizontal et perpendiculaire à l'axe Z. (Dans ce cas-ci, l'axe X est orienté vers la droite de la fraiseuse.)

Conv. 4 L'axe Y est perpendiculaire aux axes X et Z. (Dans ce cas-ci, l'axe Y est vertical et orienté vers le bas.)

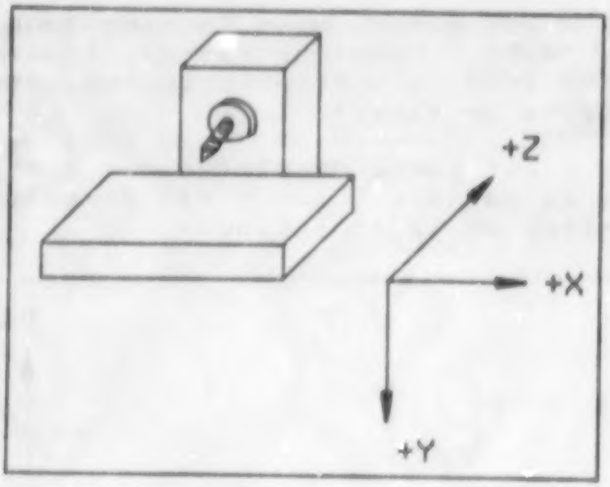


FIGURE 5.13

5.2.7 LE SYSTÈME D'AXES DE LA TABLE D'UNE FRAISEUSE

Jusqu'à maintenant, pour une fraiseuse à CN, on a supposé que l'outil est mobile et que la table sur laquelle est fixée la pièce est immobile. Lorsqu'on travaille avec une fraiseuse, c'est souvent la table qui se déplace plutôt que l'outil.

La plupart du temps, sur les petites et moyennes fraiseuses, la table se déplace selon l'axe X et Y et l'outil se déplace selon l'axe Z. Quelques fois, la table se déplace selon 1 axe et la broche selon 2 axes.

Le résultat est le même quant à la pièce finie. Que l'on déplace l'outil de 5 cm vers la droite sans déplacement de la pièce, ou bien que l'on déplace la pièce de 5 cm vers la gauche sans déplacement de l'outil, le résultat sera le même. L'outil se déplacera de 5 cm vers la droite <u>par rapport</u> à la pièce.

Lorsqu'on parle des déplacements de la table plutôt que de ceux de l'outil, on ne nomme plus les axes (X, Y et Z). Les symboles utilisés sont plutôt (X', Y' et Z'). Les axes (X', Y' et Z') sont parallèles aux axes (X, Y et Z) respectivement, mais orientés dans le sens contraire.

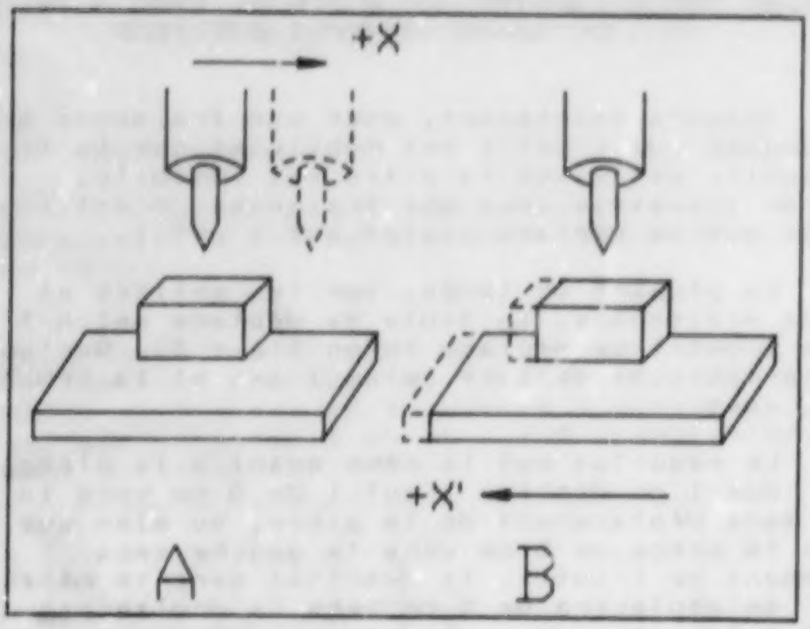


FIGURE 5.14

Sur la figure 5.14A, l'axe X est orienté vers la droite. C'est l'outil qui se déplace et la pièce reste immobile.

Sur la figure 5.14B, l'axe X' est orienté vers la gauche. C'est la pièce et la table qui se déplacent et l'outil ne subit pas de translation.

N.B. Lors de la création d'un programme pièce, le programmeur n'aura pas à se préoccuper à savoir si c'est l'outil ou la table qui se déplace. Il programmera comme si c'était l'outil et si en réalité c'est la table qui se déplace, le DCN effectuera lui-même le changement d'axe.

5.2.8 LES TRANSLATIONS ADDITIONNELLES ET LES ROTATIONS

TRANSLATION ADDITIONNELLE

Mouvement exécuté par un second organe, parallèlement à un des axes principaux de translation.

Nous savons maintenant que les axes principaux de translation sont les axes X, Y et Z. Certaines MOCN ont plus de 3 axes, soit jusqu'à 7 axes. La figure 5.15 est un exemple où il y a 2 translations dans la même direction.

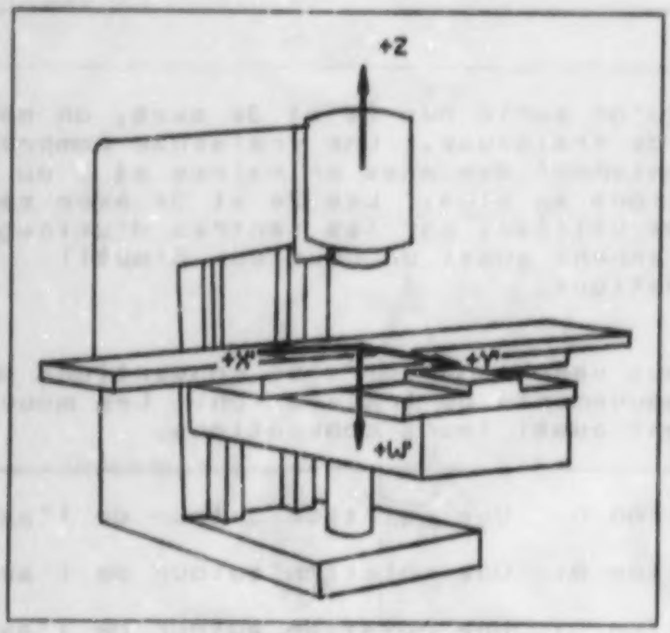


FIGURE 5.15

S'il n'y avait que le symbole Z pour définir un déplacement vertical, on ne pourrait pas contrôler le mouvement de la broche et de la table de la fraiseuse séparément.

Pour régler ce problème, le constructeur définit l'axe Z comme étant l'axe de la broche et l'axe W comme étant l'axe de la table. On peut alors contrôler un déplacement de la broche en programmant l'axe Z et de la table en programmant l'axe W.

L'axe U:	Axe de translation secondaire parallèle à l'axe X.
L'axe V:	Axe de translation secondaire parallèle à l'axe Y.
L'axe W:	Axe de translation secondaire parallèle à l'axe Z.
L'axe P:	Axe de translation tertiaire parallèle à l'axe X.
L'axe Q:	Axe de translation tertiaire parallèle à l'axe Y.
L'axe R:	Axe de translation tertiaire parallèle à l'axe Z.

ATTENTION

Lorsqu'on parle des 2e et 3e axes, on ne parle plus de fraiseuse. Une fraiseuse comprend généralement des axes primaires et 1 ou 2 rotations au plus. Les 2e et 3e axes sont plutôt utilisés par les centres d'usinage qui comprennent aussi un changeur d'outil automatique.

Nous venons de voir les conventions des axes pour les mouvements de translation. Les mouvements de rotation ont aussi leurs conventions.

Rotation A:	Une rotation autour de l'axe X.
Rotation B:	Une rotation autour de l'axe Y.
Rotation C:	Une rotation autour de l'axe Z.

Pour comprendre ce que veut dire une rotation autour d'un axe, prenons un crayon et supposons que ce crayon, c'est l'axe X. On prend un bout de papier carré de 10 cm par 10 cm environ et on le transperce au centre avec le crayon. On fait pivoter le papier sur lui-même, sans bouger le crayon. Cette rotation, c'est la rotation A, autour de l'axe X.

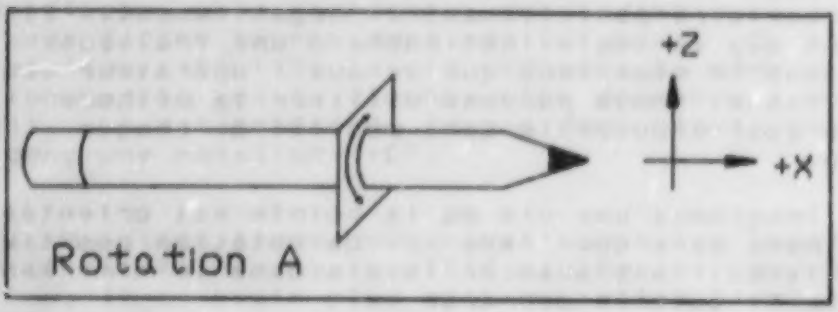


FIGURE 5.16

Si l'on place le crayon selon l'axe Z, la rotation du papier sur lui-même sera la rotation C, autour de l'axe Z.

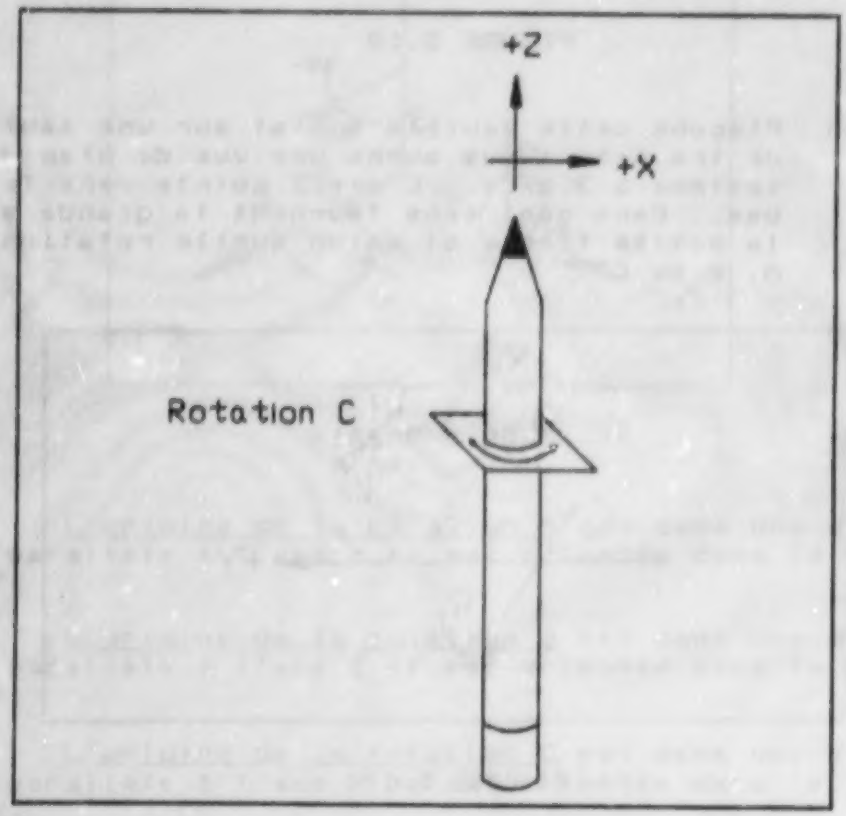


FIGURE 5.17

Tout comme les translations, les rotations peuvent se faire positivement et négativement. Il est important que la table inclinable d'une fraiseuse tourne dans le même sens que ce que l'opérateur veut qu'elle fasse. Nous pouvons utiliser la méthode suivante pour trouver le sens positif de chaque rotation.

Imaginons une vis où la pointe est orientée dans le même sens que l'axe X. La rotation positive sera celle qui fait avancer la vis dans le même sens que l'axe X, soit en serrant.

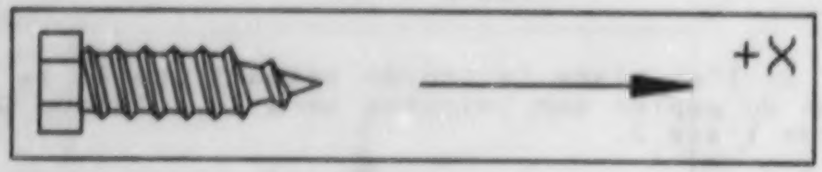


FIGURE 5.18

Exemple: Plaçons cette feuille à plat sur une table de travail. Nous avons une vue de plan d'un système à 3 axes. L'axe Z pointe vers le bas. Dans quel sens tournent la grande et la petite flèche et selon quelle rotation? A, B ou C?

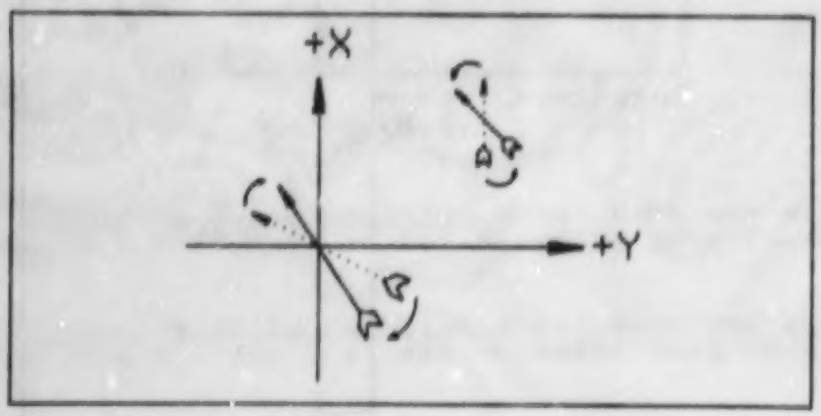


FIGURE 5.19

On imagine une vis à la place de l'axe Z. Puisque l'axe Z est orienté vers la bas, la pointe de la vis est orientée vers le bas.

Si la vis effectue la même rotation que la grande flèche, elle serrera en descendant vers le bas. La grande flèche tourne donc positivement. On a donc une rotation (+C). Si la vis effectue la même rotation que la petite flèche, elle desserrera en montant. La petite flèche tourne donc négativement. On a donc une rotation (-C).

Maintenant que nous connaissons les rotations (A, B et C) et le sens (positif et négatif) de chaque rotation, il ne reste plus qu'à connaître l'origine de chaque rotation.

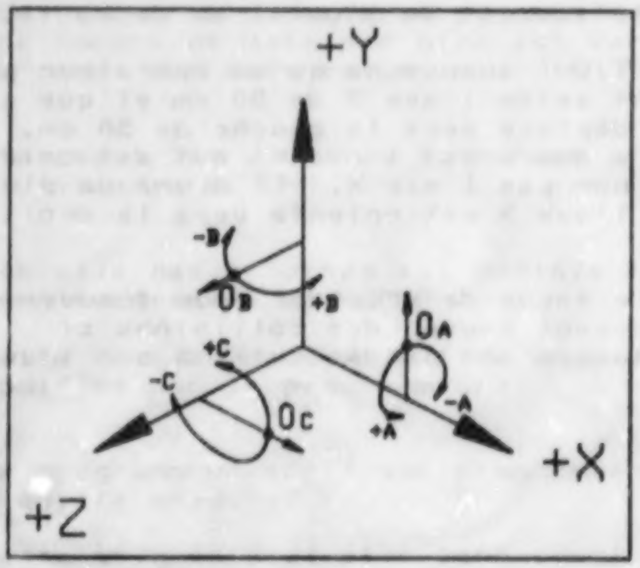


FIGURE 5.20

<u>L'origine de la rotation A</u> est dans une direction parallèle à l'axe Y et est orientée dans le sens de +Y.

<u>L'origine de la rotation B</u> est dans une direction parallèle à l'axe Z et est orientée dans le sens de +Z.

<u>L'origine de la rotation C</u> est dans une direction parallèle à l'axe X et est orientée dans le sens de +X.

Si, par rapport à la pièce, l'outil peut effectuer une rotation autour d'un axe secondaire, on appellera cette rotation la rotation D. Si l'outil par rapport à la pièce peut effectuer une rotation autour d'un axe tertiaire, on appellera cette rotation la rotation E.

Un opérateur qui n'a aucune idée de la façon dont les axes sont définis sur une certaine MOCN peut toujours s'en sortir. Il peut programmer un déplacement de quelques cm selon l'axe X et observer le déplacement de la table ou de l'outil. Il programme ensuite un déplacement de quelques cm selon l'axe Z et observe le déplacement de l'outil ou de la table.

ATTENTION! supposons qu'un opérateur programme un déplacement selon l'axe X de 50 cm et que c'est la table qui se déplace vers la gauche de 50 cm. Il devra conclure que c'est l'axe X' qui est orienté vers la gauche et non pas l'axe X. Il devra de plus conclure que l'axe X est orienté vers la droite.

N.B. Une telle façon de procéder pour trouver le sens des axes peut causer des collisions si l'opérateur n'est pas attentif à son travail.

CHAPITRE 5

LA PROGRAMMATION MANUELLE

TRAVAUX

---

1 - Quel format de bloc répond aux 3 caractéristiques suivantes?

- Le nombre de caractères par mot est variable.
- Le nombre de mots par bloc est variable.
- L'ordre des mots est fixe.

2 - Quelles sont les 2 unités de mesure principalement utilisées en CN?

3 - A) Laquelle des origines est définie par le constructeur de la MOCN?

B) Cette origine peut-elle être continuellement modifiée par le programmeur?

4 - A) Le programmeur écrit son programme par rapport à quelle origine?

B) Cette origine peut-elle être continuellement modifiée par un programmeur?

5 - Nommez les 3 axes principaux de translation?

6 - Nommez les 3 rotations principales?

7 - Quel est l'axe principal de la broche sur une MOCN? Est-ce l'axe +X, +Y ou +Z?

8 - Si l'axe +X d'une fraiseuse est orienté vers la droite, que peut-on dire quant à l'orientation de l'axe +X' de la table de cette fraiseuse?

9 - Quelle MOCN n'a généralement que 2 axes?

10 - Quelle translation tertiaire est parallèle à l'axe +Y?

11 - Regardez la section de programme pièce suivante.

```
001001-1000+1000
002000-2000+1000
003001-3000+2000
```

De quel format de bloc s'agit-il?

12 - Transformez le programme pièce suivant en format de bloc à tabulation. Ce programme est écrit en millimètres. Pour le format à tabulation, l'ordre des mots est N, G, X, Y, Z et les dimensions devront être écrites en 1/100 de millimètre sans le point décimal.

```
N100 G01 X2.0 Y0.0 Z0.0 ;
N120 G00 Y1.0 Z-1.0 ;
N140 G01 Y3.0 X1.0 ;
```

13 - Voici une section de programme pièce.

```
N10 G92 X1.0 Y-1.0 ;
N20 G02 X2.0 Y+0.0 R2.0 ;
N30 M30 ;
```

Dans cette section de programme pièce, combien y a-t-il...

A) ...de blocs?
B) ...de mots?
C) ...de caractères?
D) ...d'adresses?
E) ...de caractères de fin de bloc?

14 - Regardez bien la figure 5.A. Elle vous sera utile pour répondre aux questions 14, 15 et 16.

N.B. Lisez bien les questions.

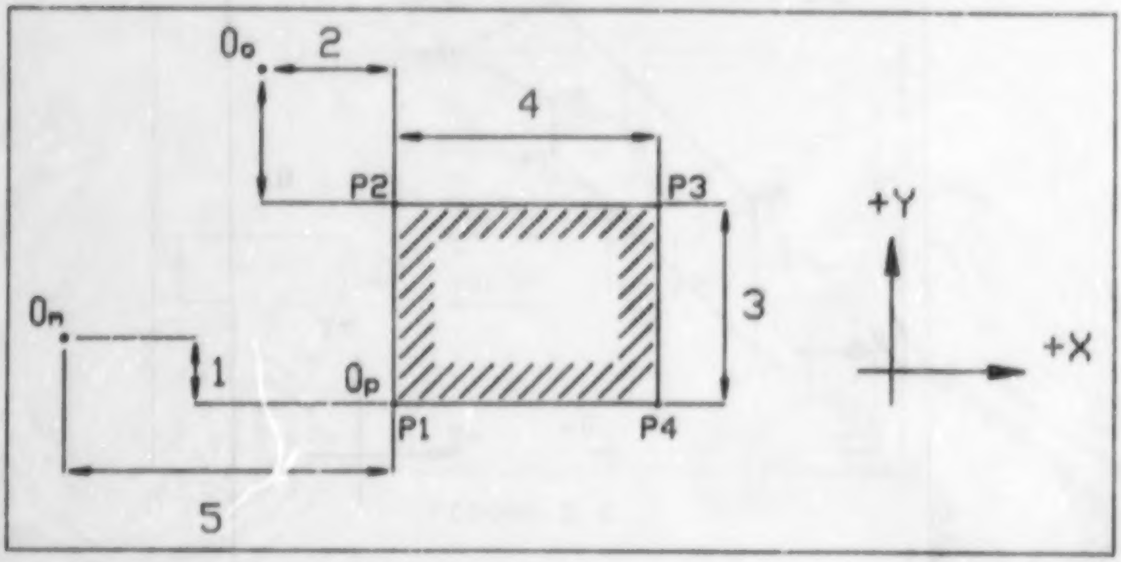


FIGURE 5.A

Écrivez les coordonnées des points P1, P2, P3 et P4 du programme pièce. Le programme est écrit par rapport à l'origine Op.

15 - Écrivez les coordonnées des points P1 à P4 du programme pièce. Le programme est écrit par rapport à l'origine Om.

16 - Si l'outil se situe au point Oo au départ du programme, quelles sont les coordonnées de ce point qui devront être inscrites dans le programme pièce?

17 - Regardez bien la figure 5.8. Elle vous sera utile pour répondre aux questions 17, 18 et 19.

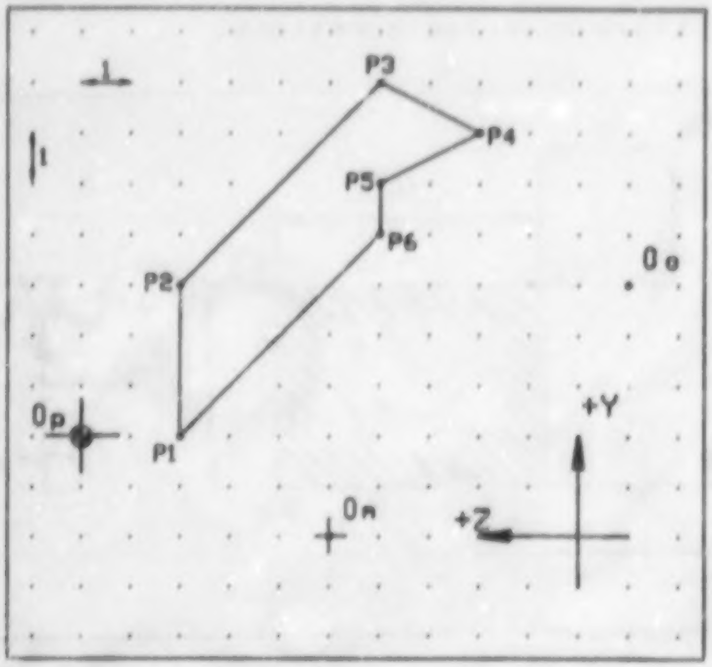


FIGURE 5.8

Écrivez les coordonnées des points P1 à P6 du programme pièce. Le programme est écrit par rapport à l'origine Op.

18 - Écrivez les coordonnées des points P1 à P6 du programme pièce. Le programme est écrit par rapport à l'origine Om.

19 - Si l'outil se situe au point Oo au départ du programme, quelles sont les coordonnées de ce point qui devront être inscrites dans le programme pièce?

20 - Regardez bien la figure 5.C.

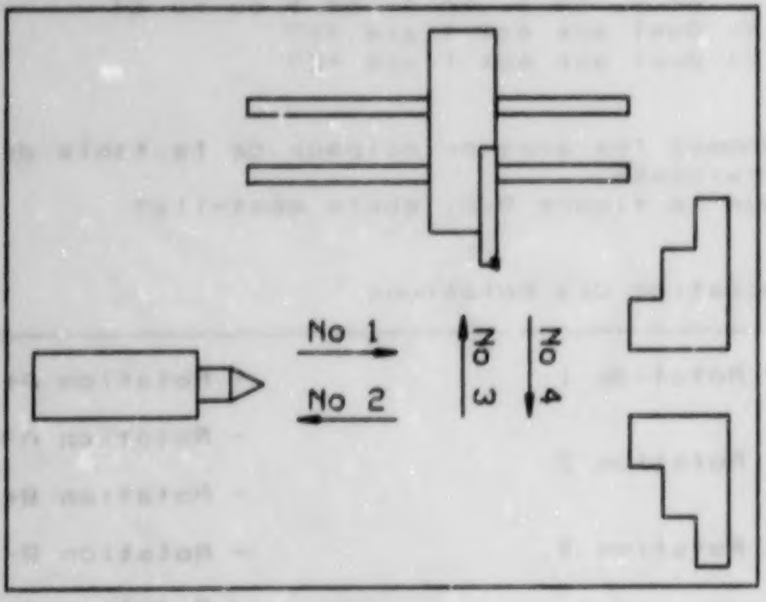


FIGURE 5.C

A) Quel axe est l'axe +X? Est-ce l'axe no 1, no 2, no 3 ou no 4 ?
B) Quel axe est l'axe +Z?

21 - Regardez bien la figure 5.D.

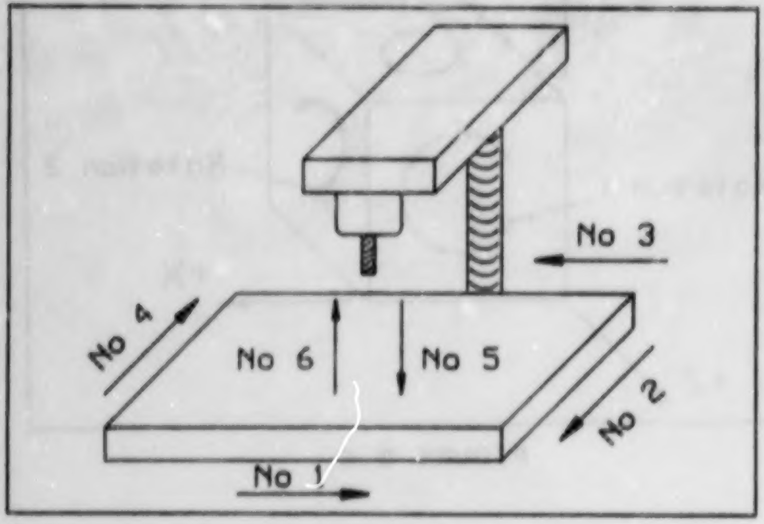


FIGURE 5.D

A) Quel axe est l'axe +X? Est-ce l'axe no 1, no 2, no 3, no 4, no 5 ou no 6?
B) Quel axe est l'axe +Y?
C) Quel axe est l'axe +Z?

22 - A) Nommez les axes principaux de la table de la fraiseuse.
B) Sur la figure 5.D, quels sont-ils?

23 - Association des rotations

- Rotation 1	- Rotation A+
	- Rotation A-
- Rotation 2	- Rotation B+
- Rotation 3	- Rotation B-
	- Rotation C+
	- Rotation C-

Regardez bien la figure 5.E.

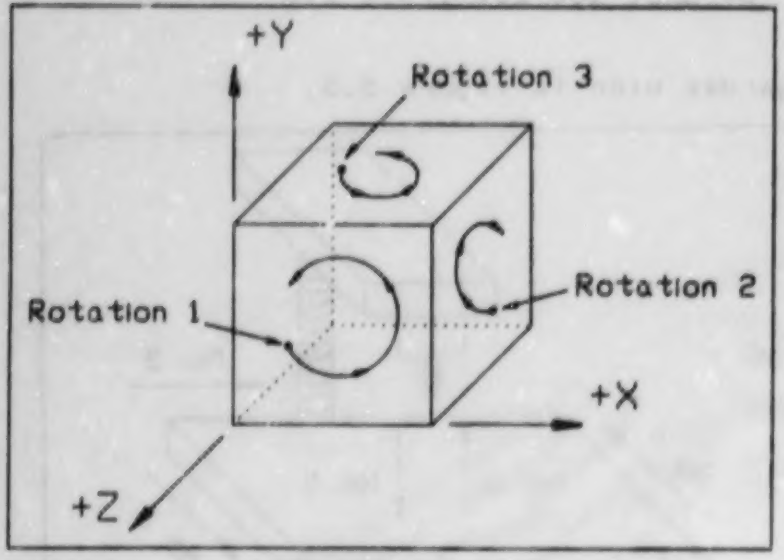


FIGURE 5.E

Associez, sur votre feuille réponse, les rotations no 1, no 2 et no 3 à la bonne rotation établie par les conventions.

La commande numérique prend de plus en plus de place dans l'industrie québécoise. Aujourd'hui, beaucoup de grandes entreprises et aussi beaucoup de PME sont équipées de machines à commande numérique. Ces machines ne peuvent fonctionner sans opérateur et sans programmeur qualifiés. Certaines entreprises entraînent elles-mêmes leur personnel; d'autres engagent du personnel qualifié sortant des écoles. C'est là que nous intervenons.

Au Québec, plusieurs écoles secondaires enseignent la commande numérique. Un problème se pose toutefois; il y a un manque de matériel didactique adéquat. Nous avons tenté de créer un manuel d'apprentissage de la commande numérique de langue française, adapté au niveau professionnel et que nous avons voulu le plus complet possible.

Ce manuel s'adresse à ceux qui veulent devenir opérateur ou programmeur de MOCN. Le langage de programmation utilisé est le langage machine aussi appelé la programmation manuelle.

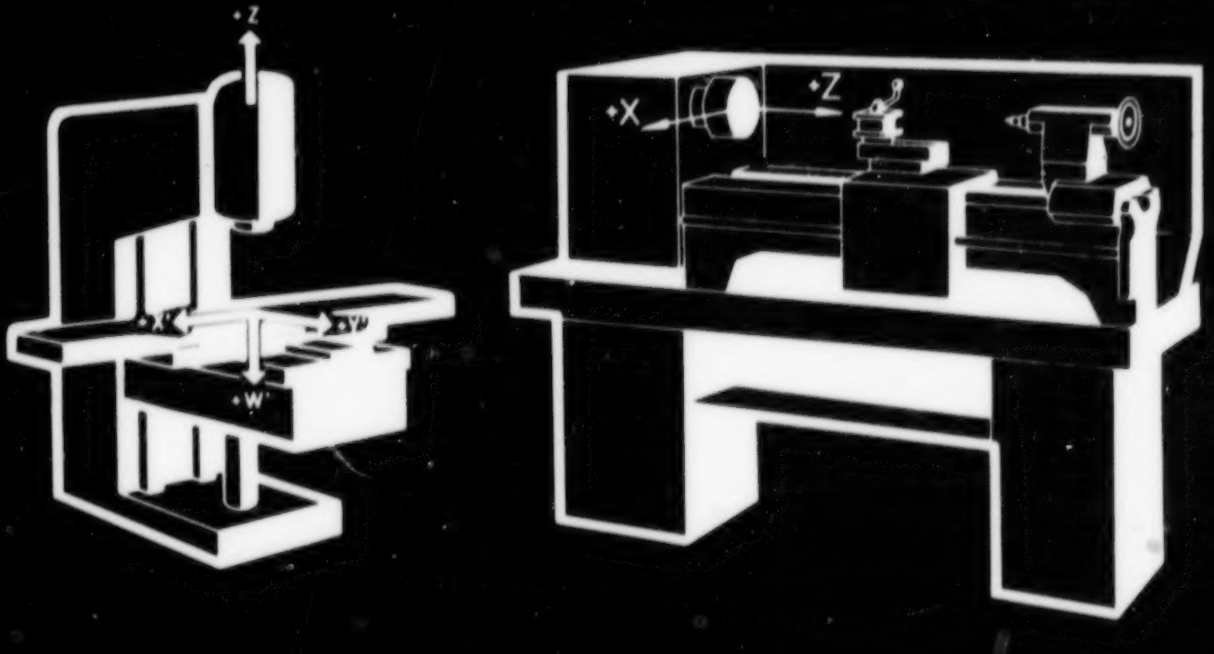
Éditions du CRP
Faculté d'éducation
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Sherbrooke (Québec)
J1K 2R1

EDUQ 87705706

UNIVERSITÉ
DE SHERBROOKE

MANUEL D'APPRENTISSAGE DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

MILAN BREZINA
DENIS DUBÉ



PPMEP
FACULTÉ D'ÉDUCATION

CAHIER 2

EDUQ 87705708

Ce manuel comprend 17 parties distinctes réparties en 4 cahiers séparés. Voici un survol de chacun des cahiers.

- Le cahier 1 présente la nomenclature des symboles utilisés dans ce manuel, une introduction, des définitions et l'historique de la commande numérique, un rappel mathématique et une description des constituants des machines-outils à commande numérique (MOCN). Il traite des supports d'informations utilisés en commande numérique, de la syntaxe d'un programme et des conventions d'axes.

- Le cahier 2 renferme les codes de programmation pour les opérations de fraisage et de tournage; il traite aussi des compensations d'outil pour ces mêmes opérations.

- Le cahier 3 expose 13 projets d'usinage permettant à l'élève d'assimiler la matière enseignée et de l'appliquer sur les machines-outils à commande numérique. Il comprend un lexique et un index des principaux termes employés dans le manuel.

- Le cahier 4 s'adresse au professeur ou à toute autre personne qui voudront prendre le cours de façon autodidacte. Il contient le corrigé des travaux, un test et le corrigé du test pour chacun des chapitres sauf le chapitre 2 qui, lui, est jonché d'exercices. Il contient aussi les résultats des projets d'usinage du cahier 3.

Le manuel proprement dit contient 9 chapitres répartis dans les cahiers 1 et 2; il est complété par les annexes A à H qui forment les cahiers 3 et 4. Nous tenons à souligner que l'ordre de présentation des cahiers correspond à celui que nous jugeons le meilleur, mais il ne représente pas un cheminement strict d'utilisation. À tous, bon apprentissage!

N.B. La reproduction totale ou partielle des cahiers 1, 2 et 3 est interdite. Toutefois, pour des raisons pratiques, nous autorisons les enseignants à reproduire le cahier 4 dans le but de distribuer des tests et des corrigés aux élèves.

MILAN BREZINA
Professeur agrégé
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

DENIS DUBÉ
Ingénieur en mécanique
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

MANUEL D'APPRENTISSAGE

DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR

DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

--- 2 ---

PPMEP

FACULTÉ D'ÉDUCATION

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Le présent manuel a été réalisé grâce à une subvention accordée par le ministère de l'Enseignement supérieur de la Science et de la Technologie dans le cadre du programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel.

(c) Publication du CRP

Tous droits réservés
Université de Sherbrooke
Faculté d'éducation
Programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel

3e trimestre 1986

ISBN 2-920859-05-6 (ensemble des 4 cahiers)
ISBN 2-920859-02-1 (cahier 2)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur participation à l'élaboration de ce manuel:

HÉLÈNE OUELLET, professeure au département de pédagogie, pour son expertise pédagogique et sa collaboration lors de l'expérimentation du manuel;

HENRI-CLAUDE LAINESSE, enseignant à l'école l'Escale d'Asbestos, pour sa participation à l'expérimentation avec son groupe d'élèves;[1]

ANDRÉ MARTIN, ingénieur, pour la réalisation de la plupart des figures du manuel;

JACYNTHE RODRIGUE, enseignante, pour la correction du français et de diverses tâches de secrétariat;

JEAN LAPOINTE, professeur au département de génie mécanique, pour sa collaboration;

GAÉTAN LAFLAMME, PIERRETTE DUPONT ET GÉRARD-RAYMOND ROY, responsables du PPMEP.

---

1 Dans ce manuel, le genre neutre masculin concerne également, s'il y a lieu, les hommes et les femmes, les élèves (garçons et filles), etc.

TABLE DES MATIÈRES

CAHIER 2

Table des matières...7

6 LES CODES DE PROGRAMMATION - OPÉRATIONS DE FRAISAGE.....11

6.1 Introduction aux codes de fraisage.....................12

6.2 Le mot 'N', le numéro de bloc..........................13

6.3 Le mot 'G', la fonction préparatoire...................14

6.3.1 Groupe 1 G90-G91-G92................................15

6.3.2 Groupe 2 G70-G71.....................................16

6.3.3 Groupe 3 G00-G01-G02-G03.............................17

6.3.4 Groupe 4 G17-G18-G19.................................24

6.3.5 Groupe 5 G40-G41-G42-G43-G44.........................26

6.3.6 Groupe 6 la famille G60-G69..........................31

6.3.7 Groupe 7 G08-G09.....................................32

6.3.8 Groupe 8 la famille G80-G89..........................34

6.3.9 Groupe 9 les autres codes............................41

6.4 Le mot 'F', la vitesse d'avance........................49

6.5 Le mot 'S', la vitesse de rotation de la broche....50

6.6 Le mot 'T', la sélection de l'outil et de la compensation d'outil.....................................50

6.7 Le mot 'M', la fonction auxiliaire.....................51

6.7.1 Groupe 1 M00-M01-M02-M30.............................51

6.7.2 Groupe 2 M03-M04-M05.................................52

6.7.3 Groupe 3 M07-M08-M09.................................53

6.7.4 Groupe 4 les autres codes............................53

6.8 Le mot 'D', la temporisation...........................55

6.9 Tableaux de programmation pour une fraiseuse.......56

Travaux du chapitre 6..................................62

7 LES CODES DE PROGRAMMATION - OPÉRATIONS DE TOURNAGE.....71

7.1 Introduction aux codes de tournage.....................72

7.2 Le mot 'O', le numéro du programme.................72

7.3 Le mot 'N', le numéro de bloc..........................72

7.4 Les mots 'U' et 'W', les coordonnées incrémentales...73

7.5 Le mot 'G', la fonction préparatoire...............74

7.5.1 Groupe 1 G20-G21......................................74

7.5.2 Groupe 2 G98-G99......................................75

7.5.3 Groupe 3 G96-G97......................................75

7.5.4 Le code G50..76

7.5.5 Groupe 4 G00-G01-G02-G03.........................76

7.5.6 Groupe 5 G40-G41-G42...............................79

7.5.7 Groupe 6 G90-G92-G94...............................81

7.5.8 Le code G10..84

7.5.9 Le code G32..86

7.5.10 Groupe 7 G70-G71-G72-G73-G74-G75-G76............87

7.5.11 Le code G04..98

7.5.12 Groupe 8 G27-G28-G29...............................98

7.6 Les mots 'E' et 'F', la vitesse d'avance..........101

7.7 Le mot 'S', la vitesse de rotation de la broche...101

7.8 Le mot 'T', la sélection de l'outil et de la compensation d'outil...............................102

7.9 Le mot 'M', la fonction auxiliaire..................102

7.9.1 Groupe 1 M00-M02-M30..............................102

7.9.2 Groupe 2 M03-M04-M05..............................103

7.9.3 Groupe 3 M07-M08-M09..............................103

7.9.4 Groupe 4 M98-M99..................................103

7.10 Tableaux de programmation pour un tour............105

Travaux du chapitre 7...................................112

8 LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UNE FRAISEUSE À CN......115

8.1 Les compensations de la longueur d'outil...........116

8.1.1 La méthode graphique..............................119

8.1.2 La méthode mathématique..........................134

8.2 Les compensations automatiques de la longueur d'outil...137

8.3 Les compensations du diamètre d'outil..............140

8.3.1 Les géométries particulières......................147

8.4 Les compensations automatiques du diamètre d'outil...159

Travaux du chapitre 8...................................160

9 LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UN TOUR À CN.............167

9.1 La géométrie de l'outil.............................168

9.2 Compensation par rapport au point P...............174

9.3 Compensation par rapport au point S...............184

9.4 Compensations d'outil automatiques.................191

Travaux du chapitre 9...................................194

--- CHAPITRE 6 ---

LES CODES DE PROGRAMMATION OPÉRATIONS DE FRAISAGE

Dans ce chapitre, nous allons étudier les codes de programmation pour les opérations de fraisage. Il est important de noter les particularités de chacun d'eux puisque les MOCN n'acceptent pas les "à peu près".

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Programmer et faire fonctionner une fraiseuse à CN sans les compensations d'outil.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre, l'élève devrait être capable de...
  - programmer une fraiseuse à CN en utilisant des codes simples;
  - reconnaître tous les codes d'une fraiseuse;
  - corriger un programme simple;
  - usiner une pièce simple sur une fraiseuse à CN (type CNC).

6.1 INTRODUCTION AUX CODES DE FRAISAGE

Voici les codes utilisés par une fraiseuse verticale à CN "AUTONUMERICS INC." munie d'un contrôle "POSITOOL CNC". Le mot contrôle est un autre mot pour désigner le DCN. Ce contrôle offre la possibilité de programmer jusqu'à 6 axes, soit les axes principaux X, Y et Z, l'axe secondaire W et les rotations A et B. La fraiseuse que nous utilisons ne peut qu'exécuter des déplacements en X, Y et Z. Nous ne tiendrons pas compte alors de l'axe W et des rotations A et B dans cette section.[1]

Il est à noter que si nous utilisons une fraiseuse avec un autre contrôle, il est possible que quelques-uns des codes de programmation varient. Mais en connaissant les codes pour un DCN en particulier, il est plus facile par la suite d'assimiler les codes d'un autre DCN. Le programmeur doit apprendre les particularités des codes du DCN sur chaque nouvelle MOCN et suivre les directives décrites dans le manuel d'instructions de cette MOCN écrit par le fabricant. La lecture de ce chapitre ne fera donc pas de vous un programmeur universel en CN.

Il faut tenir compte des exigences de la programmation et aussi de celles de la MO sur chaque MOCN différente. Un DCN accepte peut-être une commande de déplacement de 999.9999 pouces, mais cela ne veut pas dire que la MO sera capable d'effectuer un tel déplacement à cause de ses limites physiques.

Lorsqu'on parle des codes de programmation, on les associe plutôt au DCN qu'à la MOCN. La raison est que les fabricants de MOCN fabriquent la plupart du temps la machine-outil comme telle et achètent le DCN d'un fabricant spécialisé en matériel d'informatique. Les codes de programmation sont créés par le fabricant du DCN et non par le fabricant de la MO.

Le contrôle "POSITOOL CNC" utilise un format de bloc variable à adresse (voir Section 5.1). Le programmeur peut donc écrire les adresses dans l'ordre qu'il désire, mais un ordre est suggéré pour une meilleure compréhension du programme pièce, soit le suivant:

N G X Y Z A B R W I J K F S T M D

---

1 Voir la nomenclature dans le cahier 1 pour la signification des symboles.

Exemple: Un bloc d'informations contient les mots suivants: G01 Y2.0 X3.0 F5. N410. Il est suggéré d'écrire les mots dans l'ordre suivant:

N410 G01 X3.0 Y2.0 F5.

Un bloc d'informations peut contenir plus d'un code G ou M. Il est donc suggéré dans ce cas de les regrouper.

6.2 LE MOT 'N', LE NUMÉRO DE BLOC

La lettre N suivie d'un certain nombre de chiffres est un mot qui indique le numéro de bloc. Chaque bloc doit avoir un numéro de bloc. Deux blocs ne peuvent pas avoir le même numéro. Il est recommandé de numéroter les blocs dans un ordre croissant et par pas de 10.

Exemple: N0010
N0020
N0030
N0040
N0050
:

Ceci permet s'il y a une correction à apporter au programme par la suite, d'insérer un bloc entre 2 blocs existants.

Exemple: N0010
N0020
N0030
N0035 <-- (Bloc numéro 0035 inséré entre les blocs no 0030 et 0040.)
N0040
N0050
:

6.3 LE MOT 'G', LA FONCTION PRÉPARATOIRE

La lettre G suivie généralement de 2 chiffres est un mot indiquant au DCN un mode de fonctionnement particulier. Les codes G se classent en 2 catégories, soit les codes modaux et les codes non modaux. Une fonction modale (provenant d'un code modal) est une fonction qui est active tant qu'une autre fonction modale ne l'a pas désactivée. La fonction non modale est une fonction qui n'est active que dans le bloc ou elle prend place.

Exemple de fonction modale

Il existe un code de programmation pour spécifier qu'on programme en pouces et un autre pour spécifier qu'on programme en millimètres. Au début du programme, le programmeur spécifie s'il veut travailler en pouces ou en millimètres. S'il décide de travailler en pouces, il écrit le code correspondant à la programmation en pouces et puisque cette fonction est modale, il n'a pas à réécrire ce code à chaque ligne du programme pour spécifier qu'il travaille en pouces. Si au milieu du programme, il spécifie par un autre code qu'il veut maintenant programmer en millimètres, tous les déplacements des blocs qui suivent seront exécutés en millimètres sauf si le programmeur spécifie de nouveau qu'il programme en pouces.

Exemple de fonction non modale

Il existe, avec certains DCN, un code appelé "temporisation" qui permet d'arrêter l'avance de la table ou de l'outil pendant un temps déterminé. Lorsque le DCN lit ce code, il ordonne un arrêt et ceci pour le bloc concerné seulement. Il n'arrête pas à chaque bloc.

Donc, si on veut programmer en pouces, on écrit le code approprié au début du programme une seule fois puisque cette fonction est modale. Si on veut arrêter l'avance de l'outil après l'exécution de chaque bloc par une temporisation, il faudra écrire le code de temporisation à chaque ligne puisque cette fonction est non modale.

6.3.1 Groupe 1 --> G90-G91-G92

G90 --- PROGRAMMATION EN COORDONNÉES ABSOLUES

G91 --- PROGRAMMATION EN COORDONNÉES INCRÉMENTALES

Le code G90 indique que l'on travaille en coordonnées absolues. Le code G91 indique que l'on travaille en coordonnées incrémentales (voir Section 2.2.2). Les codes G90 et G91 s'annulent réciproquement. Un programme pièce doit obligatoirement contenir soit un code G90, soit un code G91.

```
:                           :
G90 *                       G91 *
G01 X+1.0 Y+1.0 *           G01 X+1.0 Y+1.0 *
X+2.0 Y+1.0 *               X+2.0 Y+1.0 *
:                           :
```

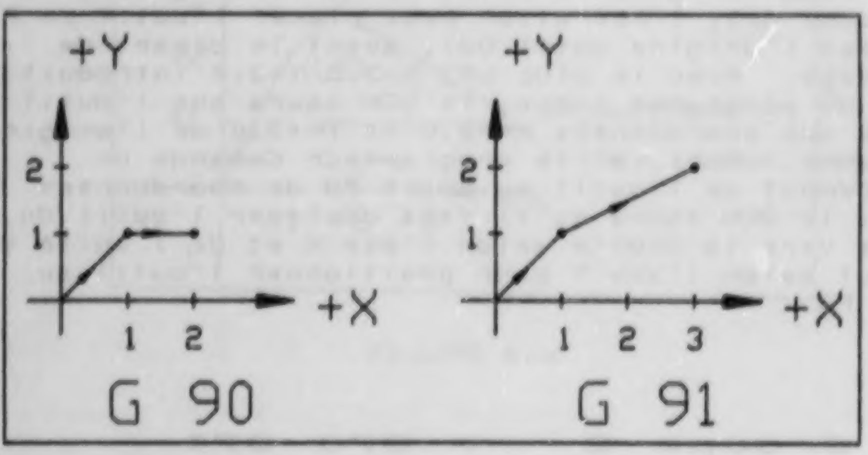


FIGURE 6.1

G92 --- REDÉFINITION DE L'ORIGINE DES AXES

Le code G92 permet de redéfinir l'origine des axes, c'est-à-dire l'origine programme, pour simplifier les calculs des coordonnées de chaque point. Il n'y a pas de déplacement de la broche lorsque ce bloc est lu. Cette instruction n'est valide qu'en programmation absolue et est non modale puisque l'origine n'est pas redéfinie dans chaque bloc.

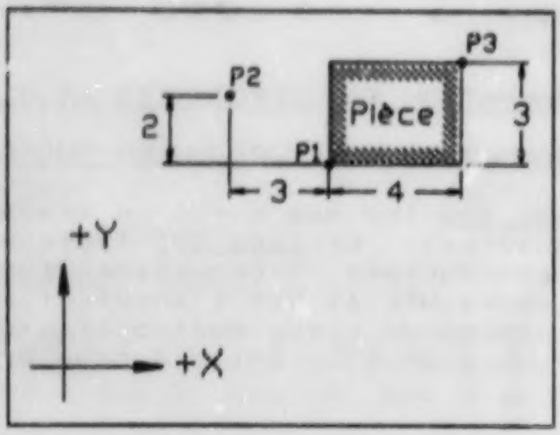


FIGURE 6.2

Si le programmeur a établi son programme pièce ayant comme origine le point P1 (qui est l'origine programme Op), l'opérateur peut placer l'outil en P2 (qui est l'origine outil Oo), avant le départ de l'usinage. Avec le bloc G92 X-3.0 Y+2.0 introduit au début du programme pièce, le DCN saura que l'outil se trouve aux coordonnées X=-3.0 et Y=+2.0 de l'origine programme. Donc, si le programmeur demande un déplacement de l'outil au point P3 de coordonnées (4,3), le DCN saura qu'il faut déplacer l'outil de 7 unités vers la droite selon l'axe X et de 1 unité vers le haut selon l'axe Y pour positionner l'outil au point P3.

6.3.2 Groupe 2 --> G70-G71

G70 --- PROGRAMMATION EN POUCES

Avec le code G70, les distances sont perçues par le DCN comme étant en pouces et les vitesses d'avance en po/min. Le mot X1.0 veut alors dire 1 pouce selon l'axe X.

G71 --- PROGRAMMATION EN MILLIMÈTRES

Avec le code G71, les distances sont perçues par le DCN comme étant en millimètres et les vitesses d'avance en mm/min. Le mot X1.0 veut alors dire 1 millimètre selon l'axe X.

Les codes G70 et G71 s'annulent réciproquement. Un programme pièce doit obligatoirement contenir soit un code G70, soit un code G71.

6.3.3 Groupe 3 --> G00-G01-G02-G03

G00 --- DÉPLACEMENT RAPIDE (MODAL)

Le code G00 inscrit dans un bloc provoque un déplacement rapide de l'outil par rapport à la pièce jusqu'au point indiqué dans ce même bloc.

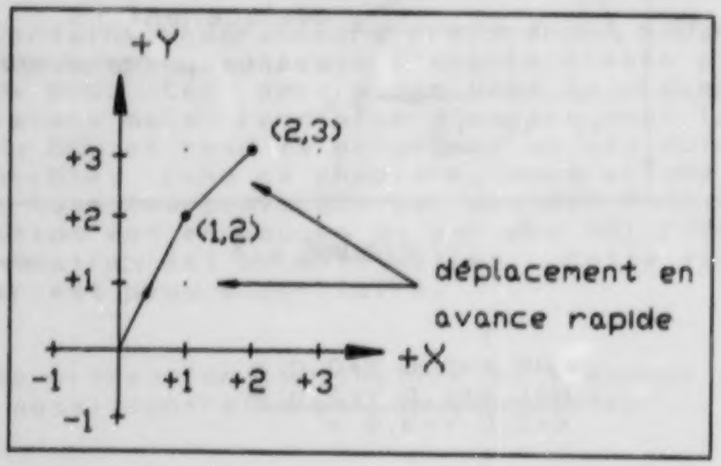


FIGURE 6.3

```
:
G01 X+0.0 Y+0.0 *        outil en (0,0)
G00 X+1.0 Y+2.0 *        outil en (1,2)
X+2.0 Y+3.0 *            outil en (2,3)
:
```

L'outil par rapport à la pièce se déplace rapidement du point (0,0) jusqu'au point (1,2) puis rapidement jusqu'au point (2,3). Le déplacement rapide s'effectue généralement en ligne droite. Avec le code G00, c'est le DCN qui décide de la vitesse d'avance et non le programmeur.

G01 --- INTERPOLATION LINÉAIRE

Le code G01 inscrit dans un bloc provoque un déplacement à vitesse programmée de l'outil par rapport à la pièce jusqu'au point indiqué dans ce même bloc. Le déplacement s'effectue toujours en ligne droite.

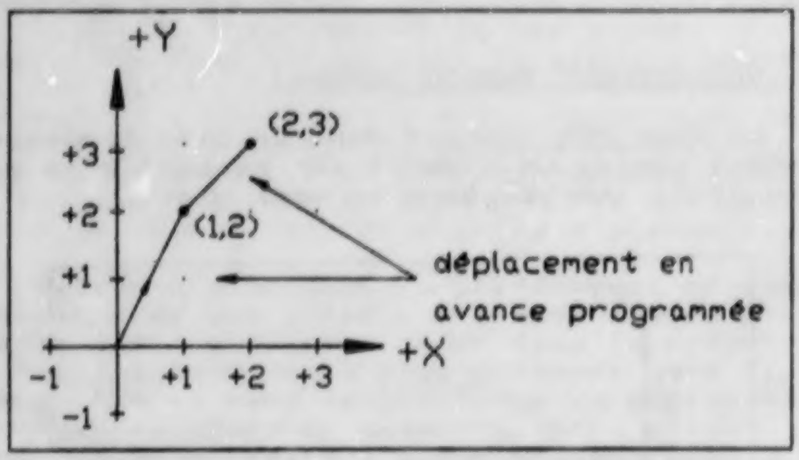


FIGURE 6.4

```
     :
G00 X+0.0 Y+0.0 *
G01 X+1.0 Y+2.0 *
X+2.0 Y+3.0 *
     :
```

L'outil par rapport à la pièce se déplace à vitesse programmée du point (0,0) jusqu'au point (1,2) puis toujours à vitesse programmée jusqu'au point (2,3) suivant des lignes droites. C'est le programmeur qui décide de la vitesse d'avance et le DCN ajuste les vitesses de chaque moteur d'entraînement des axes en conséquence. L'outil peut se déplacer suivant au moins 2 axes à la fois. Avec certains DCN (Positool CNC par exemple), l'outil peut se déplacer suivant 3 axes à la fois.

Avec le contrôle "POSITOOL CNC" et certains autres contrôles, il y a un commutateur (un bouton de commande) sur le DCN qui sert à faire varier la vitesse d'avance "OVERRIDE". On peut avec ce commutateur faire varier la vitesse d'avance de 0 à 150 % de la vitesse d'avance programmée.

Exemple: Si la vitesse d'avance programmée est 8.0 po/min, on peut faire varier la vitesse d'avance de 0 à 12 po/min.

8 * 150/100 = 12

Ce commutateur est très utile pour prévenir les collisions lors de la vérification du programme pièce et lors de l'usinage de la 1re pièce. Si l'on voit que l'outil se dirige vers la pièce à grande vitesse, on pourrait réduire cette vitesse avec le commutateur et si vraiment l'outil fonce dans la pièce, on pourrait arrêter l'usinage et corriger l'erreur du programme. Le commutateur n'a aucun effet sur la vitesse d'avance du code G00, ce qui peut entraîner des collisions difficiles à prévenir.

Certains programmeurs préféreront programmer un code G01 avec une vitesse d'avance élevée plutôt qu'un code G00. Ceci peut aider dans la prévention des collisions mais prend plus d'espace dans la mémoire du DCN et rend le programme un peu moins compréhensible. Dans ce chapitre, nous allons remplacer tous les codes G00 par des G01 F400.0 si la programmation est en pouces ou par des G01 F9999. si la programmation est en millimètres. Cette façon de programmer est plus sécuritaire.

N.B. Cette prévention est inutile si l'avance rapide est aussi contrôlée par un commutateur.

G02 --- INTERPOLATION CIRCULAIRE, SENS HORAIRE

Le code G02 inscrit dans un bloc provoque un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, à vitesse programmée suivant un arc de cercle dans le sens horaire, jusqu'au point indiqué dans ce même bloc.

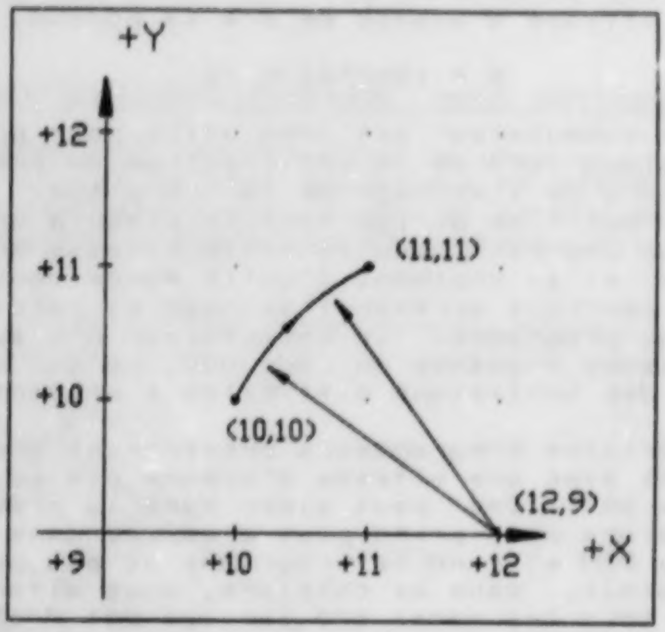


FIGURE 6.5

```
                        :
G01 X+10.0 Y+10.0 F400.0 *
G02 X+11.0 Y+11.0 I2.0 J1.0 *
                        :
```

L'outil par rapport à la pièce se déplace à vitesse programmée du point de départ (10,10) jusqu'au point d'arrivée (11,11) suivant un arc de cercle dans le sens horaire. Le mot I2.0 signifie que le centre de courbure de l'arc de cercle est situé à 2 unités du point de départ (X+10.0) selon l'axe X. Le mot J1.0 signifie que le centre de courbure de l'arc de cercle est situé à 1 unité du point de départ (Y+10.0) selon l'axe Y. Le mot K est utilisé lorsque l'interpolateur du DCN travaille avec l'axe Z.

Les adresses I, J et K sont toujours suivies d'un nombre positif ou nul, mais jamais négatif. Le DCN trouvera lui-même si I2.0 signifie 2 unités à droite ou à gauche de X+10.0. Si le programmeur fait une erreur en calculant X, Y, I ou J, il est possible que le DCN donne un déplacement erroné ou ne soit pas capable d'interpoler correctement.

N.B. Certains DCN acceptent les mots I, J et K négatifs.

G03 --- INTERPOLATION CIRCULAIRE, SENS ANTIHORAIRE

Le code G03 inscrit dans un bloc provoque un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, à vitesse programmée suivant un arc de cercle dans le sens antihoraire, jusqu'au point indiqué dans ce même bloc.

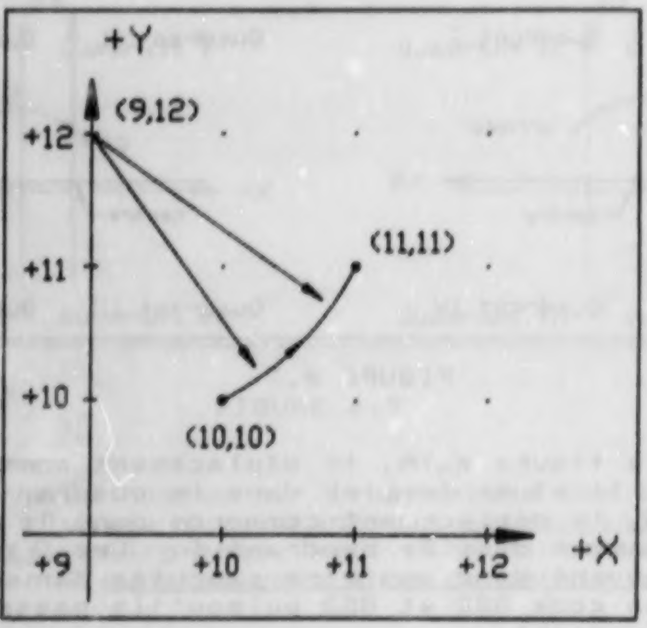


FIGURE 6.6

```
:
G01 X+10.0 Y+10.0 F400.0 *
G03 X+11.0 Y+11.0 I1.0 J2.0 *
:
```

L'outil par rapport à la pièce se déplace à vitesse programmée du point (10,10) jusqu'au point (11,11) suivant un arc de cercle dans le sens antihoraire. Le centre de ce cercle est situé à 1 unité de X+10.0 selon l'axe X et à 2 unités de Y+10.0 selon l'axe Y.

ATTENTION! les codes G02 et G03 ne seront pas exécutés correctement si le déplacement commandé passe par plus d'un quadrant du plan. Les quadrants sont séparés par les axes principaux, où l'origine est le centre du cercle. Les déplacements suivants ne pourront être exécutés s'ils sont demandés par un seul bloc.

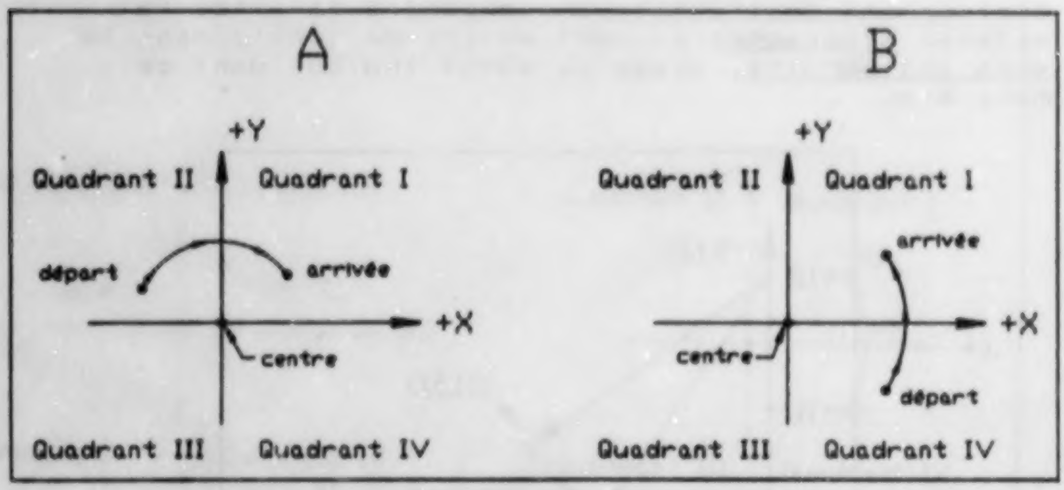


FIGURE 6.7

À la figure 6.7A, le déplacement commence dans le quadrant II et se termine dans le quadrant I. À la figure 6.7B, le déplacement commence dans le quadrant IV et se termine dans le quadrant I. Ces 2 déplacements ne peuvent donc pas être exécutés par un seul bloc avec un code G02 et G03 puisqu'ils passent par plus d'un quadrant.

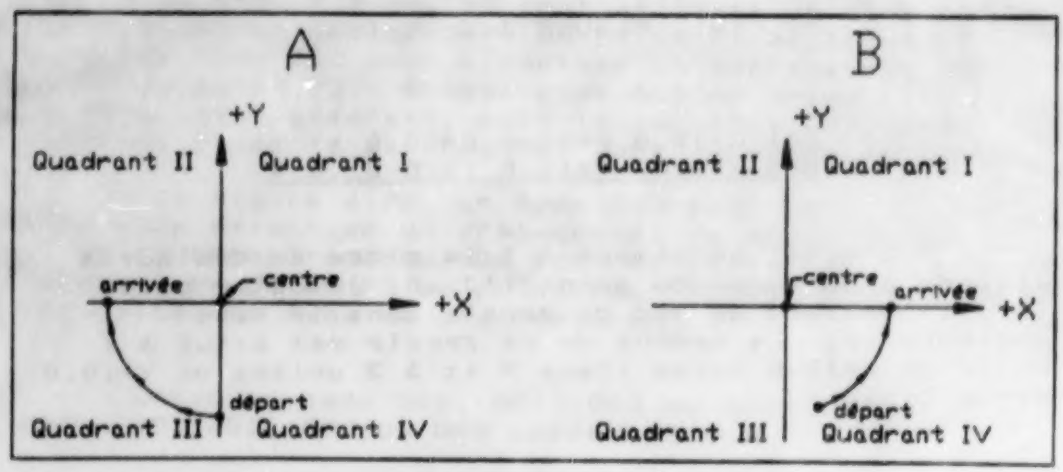


FIGURE 6.8

À la figure 6.8A, le déplacement ne passe que par le quadrant III et à la figure 6.8B, le déplacement ne passe que par le quadrant IV. Ces 2 déplacements <u>peuvent donc être exécutés</u> par un seul bloc avec un code G02 et G03 puisqu'ils passent par un seul quadrant.

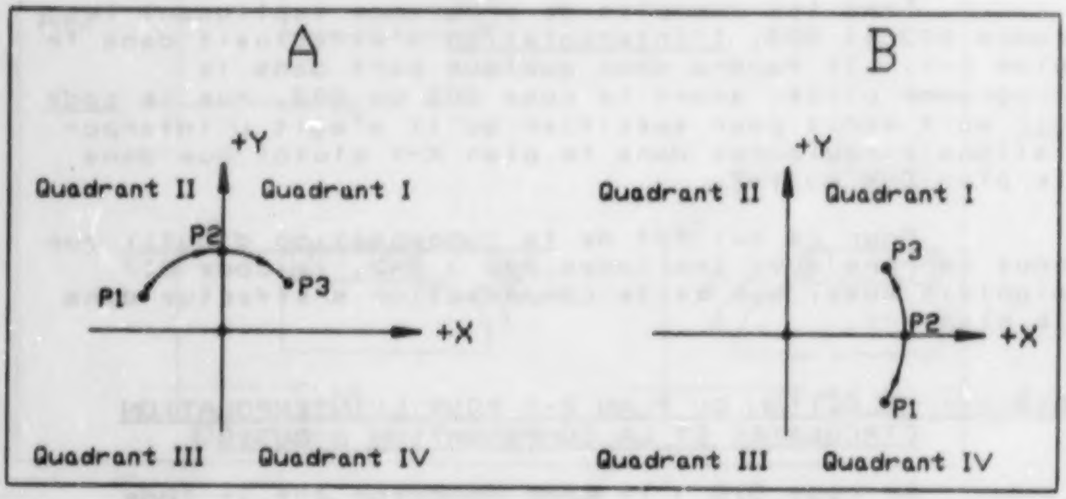


FIGURE 6.9

On peut contourner le problème des déplacements dans plusieurs quadrants en <u>segmentant les déplacements</u>. (Segmenter veut dire décomposer l'arc de cercle en 2 ou plusieurs arcs de cercle bout à bout.)

À la figure 6.9A, on peut utiliser un code G02 pour effectuer un déplacement du point P1 au point P2 et un autre code G02 pour effectuer un déplacement du point P2 au point P3. Chaque code G02 ne travaille que dans un seul quadrant, soit le 1er code G02 dans le quadrant II et le 2e code G02 dans le quadrant I.

À la figure 6.9B, un code G03 peut être utilisé pour effectuer un déplacement du point P1 au point P2 et un autre code G03 pour effectuer un déplacement du point P2 au point P3. Chaque code G03 ne travaille que dans un seul quadrant.

Lorsqu'un code G00, G01, G02 ou G03 est écrit, le code G00, G01, G02 ou G03 précédent est annulé.

6.3.4 Groupe 4 --> G17-G18-G19

G17 --- SÉLECTION DU PLAN X-Y POUR L'INTERPOLATION CIRCULAIRE ET LA COMPENSATION D'OUTIL

Dans les exemples de programme expliquant les codes G02 et G03, l'interpolation s'effectuait dans le plan X-Y. Il faudra donc quelque part dans le programme pièce, avant le code G02 ou G03, que le code G17 soit écrit pour spécifier qu'il s'agit d'interpolations circulaires dans le plan X-Y plutôt que dans le plan Z-X ou Y-Z.

Pour ce qui est de la compensation d'outil que nous verrons avec les codes G40 à G42, le code G17 signifie aussi que cette compensation s'effectue dans le plan X-Y.

G18 --- SÉLECTION DU PLAN Z-X POUR L'INTERPOLATION CIRCULAIRE ET LA COMPENSATION D'OUTIL

Le code G18 a la même fonction que le code G17, mais dans le plan Z-X.

G19 --- SÉLECTION DU PLAN Y-Z POUR L'INTERPOLATION CIRCULAIRE ET LA COMPENSATION D'OUTIL

Le code G19 a la même fonction que le code G17, mais dans le plan Y-Z.

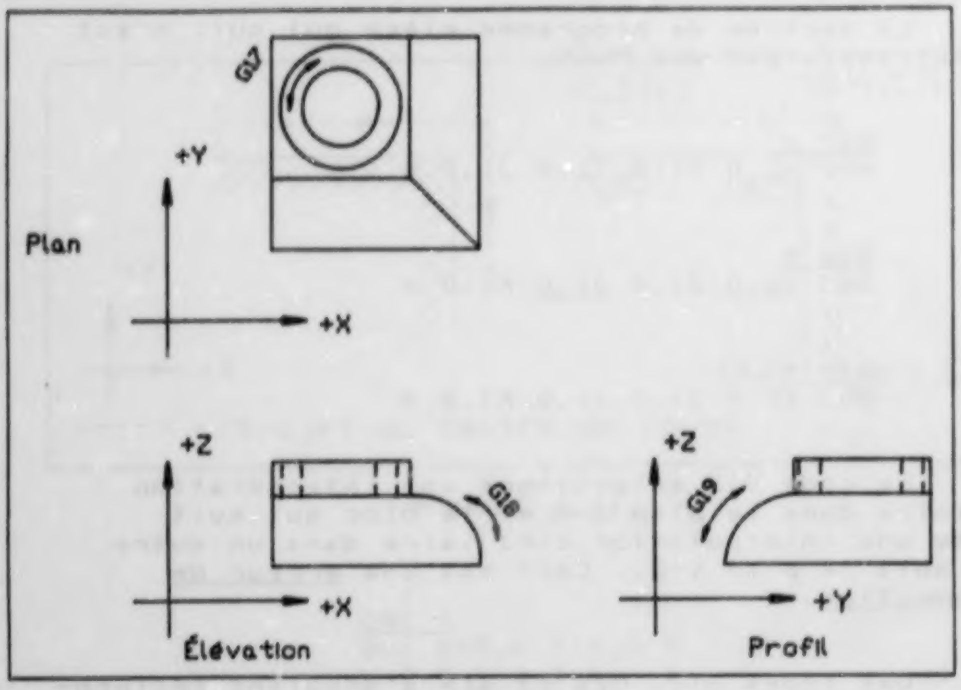


FIGURE 6.10

La vue de plan de la figure 6.10 montre une rainure qui est usinée dans le plan X-Y à l'aide d'une interpolation circulaire. Le code G17 est alors requis. La vue d'élévation montre une surface usinée à l'aide d'une interpolation circulaire et du code G18. La vue de profil montre une surface usinée à l'aide d'une interpolation circulaire et du code G19. D'autres méthodes d'usinage sont plus efficaces que celle montrée à la figure 6.10, mais le but de cette démonstration est de montrer l'utilité des codes G17, G18 et G19.

La section de programme pièce qui suit est réalisable par une MOCN.

```
   :
G17 *
G02 X1.0 Y1.0 I1.0 J1.0 *
   :
   :
G18 *
G02 X1.0 Z1.0 I1.0 K1.0 *
   :
   :
G19 *
G02 Y1.0 Z1.0 J1.0 K1.0 *
   :
```

La section de programme pièce qui suit n'est pas réalisable par une MOCN.

```
 :
G17 *
G02 X1.0 Y1.0 I1.0 J1.0 *
 :
 :
G18 *
G02 Y1.0 Z1.0 I1.0 K1.0 *
 :
 :
G19 *
G02 Y1.0 Z1.0 J1.0 K1.0 *
 :
```

Le code G18 sélectionne une interpolation circulaire dans le plan Z-X et le bloc qui suit exécute une interpolation circulaire dans un autre plan, soit le plan Y-Z. Ceci est une <u>erreur de programmation</u>.

Les codes G17, G18 et G19 s'annulent réciproquement. Un programme pièce doit obligatoirement contenir un des codes G17, G18 ou G19, s'il effectue de l'interpolation circulaire ou des corrections d'outil.

6.3.5 Groupe 5 --> G40-G41-G42 G43-G44

<u>G41 --- COMPENSATION D'OUTIL À GAUCHE</u>

Avec le <u>code G41</u>, le DCN tient compte du diamètre de l'outil. Le programmeur doit spécifier les coordonnées de la pièce après usinage. À la figure 6.11, nous voyons que l'outil se déplace <u>à la gauche du trajet programmé</u>. On aurait pu écrire le code G41 dans le programme et programmer les dimensions de la pièce usinée soit:

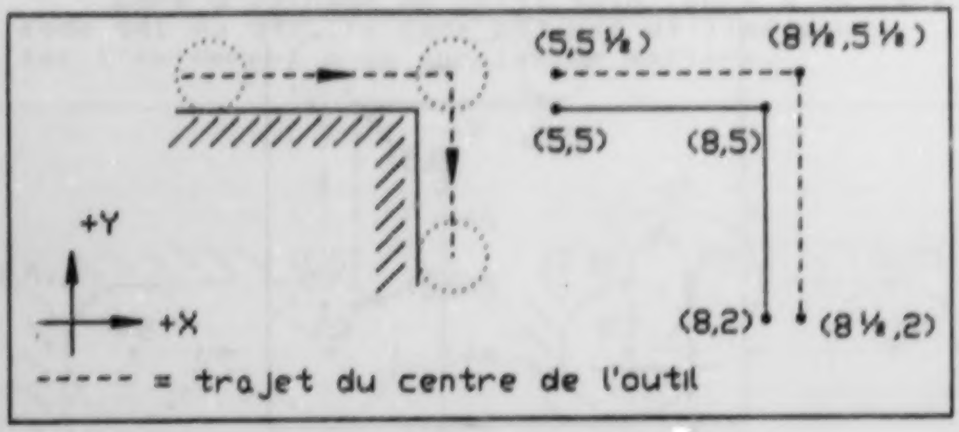


FIGURE 6.11

```
    ⋮
G41 *
G01 X+5.0 Y+5.0 *
X+8.0 Y+5.0 *
X+8.0 Y+2.0 *
    ⋮
```

Le DCN calcule lui-même le trajet du centre de l'outil. Ce code est très utile, surtout si on ne sait pas, lors de l'étape de la programmation, le diamètre exact de l'outil. Pour que ce code soit utilisable, il faut quelque part, dans un tableau de corrections d'outil, inscrire la valeur du diamètre de l'outil utilisé.

G42 --- COMPENSATION D'OUTIL À DROITE

Si l'usinage de la pièce montrée à la figure 6.11 s'effectuait de la façon suivante (voir Figure 6.12), l'outil se déplacerait alors à la droite du trajet programmé. Le code G42 serait alors approprié et le programme s'écrirait alors comme suit.

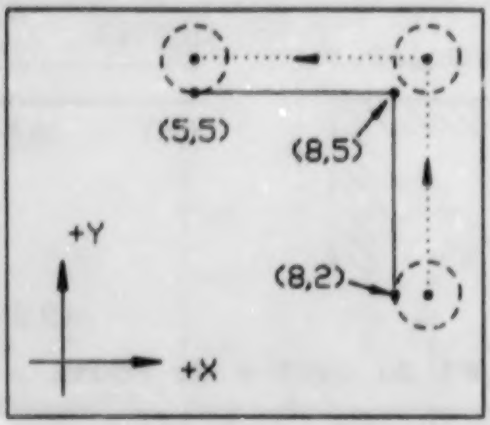


FIGURE 6.12

```
   :
G42 *
G01 X+8.0 Y+2.0 *
X+8.0 Y+5.0 *
X+5.0 Y+5.0 *
   :
```

G40 --- ANNULATION DE LA COMPENSATION D'OUTIL

Le code G40 annule les codes G41 et G42 et les codes G41 et G42 annulent le code G40. On doit donc avec le code G40, programmer le trajet du centre de l'outil.

Supposons que l'on veut fraiser une pièce avec une fraise en bout de 1 pouce de diamètre. Nous savons que nous devons calculer le trajet du centre de l'outil décalé de 0.5 pouce par rapport à la surface de la pièce après usinage. La section de programme suivante servira à usiner la pièce montrée à la figure 6.11.

```
   :
G40 *
G01 X+5.0 Y+5.5 *
X+8.5 Y+5.5 *
X+8.5 Y+2.0 *
   :
```

G43 --- ANTICIPATION POUR LES COINS INTÉRIEURS A 90°

Lors d'usinage de coins intérieurs à 90° avec le code G41 ou G42, le code G43 est utilisé pour éviter l'évidement d'un surplus de matière.

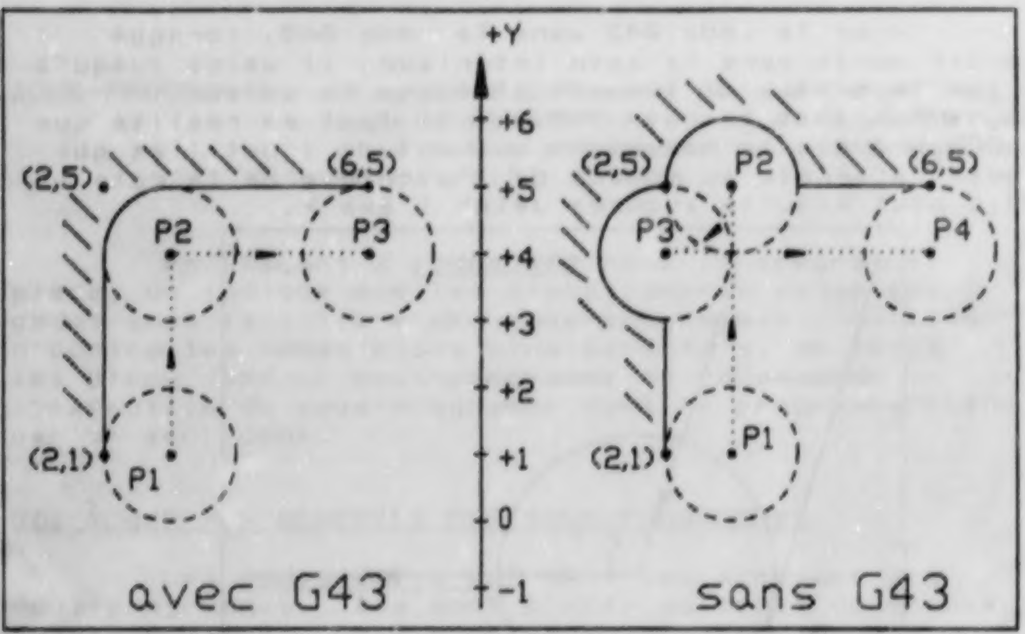


FIGURE 6.13

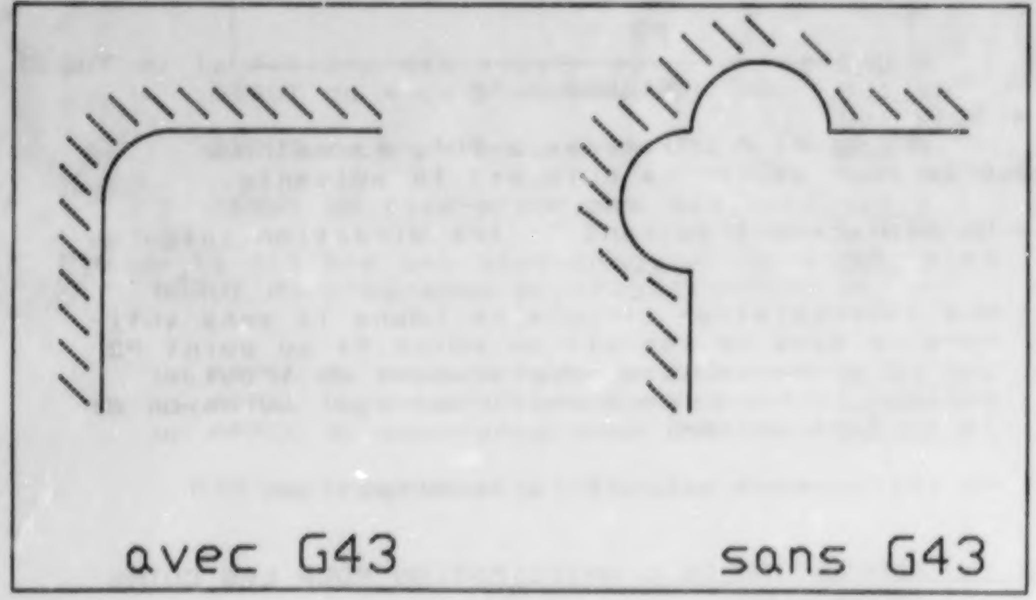


FIGURE 6.14

```
    :
G42 *
G01 X2.0 Y1.0 *
G43 Y5.0 *
G44 X6.0 *
    :
```

Avec le code G42 sans le code G43, lorsque l'outil monte vers le coin intérieur, il usine jusqu'à ce que le centre de l'outil atteigne la valeur programmée soit la cote Y=5.0. Il faut en réalité que le DCN prévoie le mouvement suivant de l'outil et que l'outil s'arrête au moment de l'atteinte de la cote Y=4.5 pour ensuite avancer selon l'axe X.

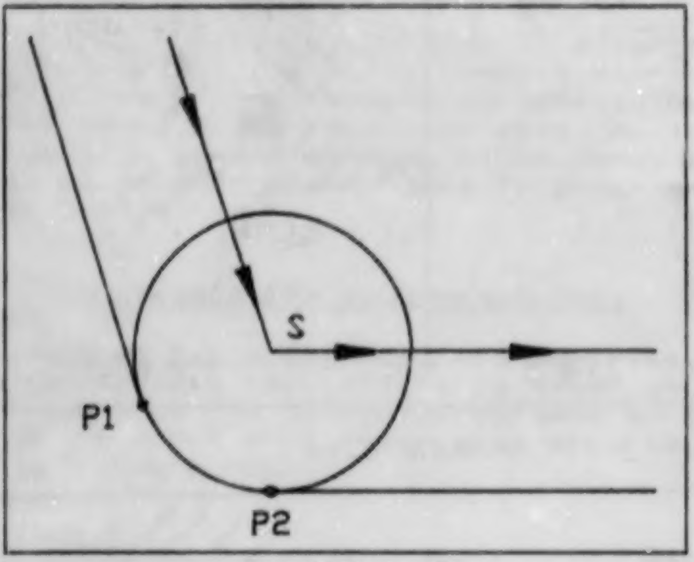


FIGURE 6.15

Si le coin n'est pas à 90°, la méthode suggérée pour usiner ce coin est la suivante.

1 - Un déplacement suivant la 1re direction jusqu'au point P1.

2 - Une interpolation circulaire (dans le sens anti-horaire dans ce cas-ci) du point P1 au point P2 qui ne provoque aucun déplacement de l'outil puisque le rayon de l'outil est égal au rayon de la surface usinée.

3 - Un déplacement suivant la 2e direction.

<u>G44 --- ANNULATION DE L'ANTICIPATION POUR LES COINS INTÉRIEURS</u>

Le <u>code G44</u> annule le code G43.

6.3.6 Groupe 6 --> La famille G60-G69

G60 --- DÉBUT ET FIN DE LA FILIÈRE DES SOUS-PROGRAMMES

SOUS-PROGRAMME: Programme autonome pouvant être appelé et utilisé lors de l'exécution d'un autre programme nommé "programme principal".

En plaçant 2 codes G60 dans le programme pièce, on indique que les blocs compris entre ces 2 codes sont la filière des sous-programmes. Au lieu d'écrire les mêmes blocs plusieurs fois, on écrit les blocs dans un sous-programme et on demande l'exécution du sous-programme dans le programme pièce par un seul code.

G61 À G69 --- ADRESSES DES SOUS-PROGRAMMES

Les codes G61 à G69 sont les adresses des sous-programmes. Ils sont placés au début de chaque sous-programme. La fin du sous-programme sera délimité par le début d'un autre sous-programme ou par la fin de la filière (G60).

```
DÉBUT de la filière des sous-prog.-------> G60 *
          DÉBUT du sous-programme G61 ---> G61 *
                                           G01 X1.0 *
          DÉBUT du sous-programme G62 ---> G62 *
                                           G01 X2.0 *
          DÉBUT du sous-programme G63 ---> G63 *
                                           G01 X3.0 *
  FIN de la filière des sous-prog.-------> G60 *
       DÉBUT du programme principal -----> G90 *
                                             :
                                             :
     un APPEL du sous-programme G62 ---> G6201 *
     un APPEL du sous-programme G63 ---> G6301 *
     un APPEL du sous-programme G61 ---> G6101 *
                                             :
         FIN du programme principal ----->
```

L'exécution du programme pièce commencera par le bloc G90. Le bloc G6201 provoquera par la suite un déplacement en X=2.0, le bloc G6301 provoquera un déplacement en X=3.0 puis le bloc G6101 provoquera un déplacement en X=1.0. L'ordre des déplacements est donc X=2.0, X=3.0 et X=1.0 plutôt que X=1.0, X=2.0 et X=3.0 puisque l'ordre des déplacements est imposé par l'ordre dans lequel les sous-programmes sont appelés et non l'ordre dans lequel ils apparaissent dans le programme principal.

Lorsqu'un mot G61 à G69 est inscrit dans le programme principal, le DCN comprend qu'il doit appeler le sous-programme ayant ce numéro. Le mot G6507 indique que le DCN doit appeler le sous-programme G65, 7 fois de suite. Si le sous-programme G61 est appelé 4 fois par un autre sous-programme plutôt que par le programme principal, l'appel devra se faire par un code G-6104 plutôt que par un code G6104.

6.3.7 Groupe 7 --> G08-G09

G08 --- MOUVEMENT SANS DÉCÉLÉRATION

Avec le code G08, l'outil ne décélère pas lorsqu'il s'approche d'une position à atteindre.

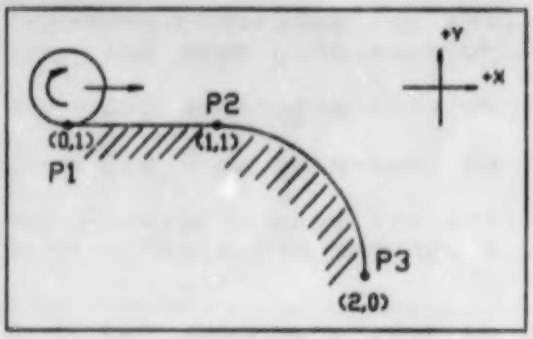


FIGURE 6.16

```
   :
G01 X0.0 Y1.0 *
G08 X1.0 *
G02 X2.0 Y0.0 J1.0 *
   :
```

Avec le programme pièce précédent, l'outil va de P1 (0,1) à P2 (1,1) en ligne droite et puis à P3 (2,0) suivant un arc de cercle. Sans le code G08, l'outil en s'approchant du point P2 décélérerait graduellement. Ce changement de vitesse se remarquerait sur le fini de surface de la pièce par une petite marque au point P2. Avec le code G08, l'outil ne décélère pas en s'approchant du point P2.

Le code G08 n'est pas toujours à utiliser. Pour usiner un coin, il est préférable de ne pas utiliser le code G08 parce que l'inertie des constituants de la MOCN va faire dériver l'outil de sa trajectoire. À la figure 6.17, lorsque l'outil est au point P2, le DCN commande un arrêt brusque du déplacement selon X et commande un déplacement dans la direction -Y. L'outil qui a une certaine inertie continuera d'avancer dans la direction +X pour revenir sur sa trajectoire exacte par la suite.

En plus d'avoir une pièce finie avec un défaut, les moteurs sont durement mis à l'épreuve, ce qui diminue leur vie. Le code G08 est donc utilisable lorsque les 2 déplacements successifs sont tangents l'un à l'autre. C'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de changement brusque de direction.

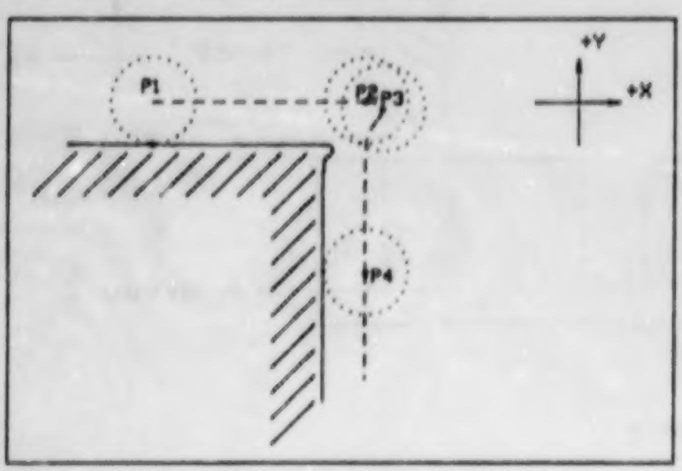


FIGURE 6.17

G09 --- MOUVEMENT AVEC DÉCÉLÉRATION

Le code G09 annule le code G08 et réciproquement. Si l'on veut usiner un coin, il faudra utiliser le code G09 plutôt que le code G08 pour éviter la dérive. C'est le code G09 qui est pris par défaut par le DCN si aucun des 2 codes G08 ou G09 n'est spécifié.

6.3.8 Groupe 8 --> La famille G80-G89

Les <u>codes G81 à G89</u> sont des cycles fixes d'usinage. Chaque code représente <u>une série de mouvements</u> de la broche et de la table dans le but d'effectuer une opération d'usinage. Tous les mouvements reliés à cette opération sont exécutés <u>à l'aide d'un seul bloc d'informations</u>.

<u>G81 --- CYCLE DE PERÇAGE</u> (Z-R-F)

```
:
G01 X+9.0 Y+5.0 F20. *
G81 Z-0.25 R0.1 F5. *
X+7.0 Y+3.0 *
G80 *
X+4.0 Y+2.0 *
:
```

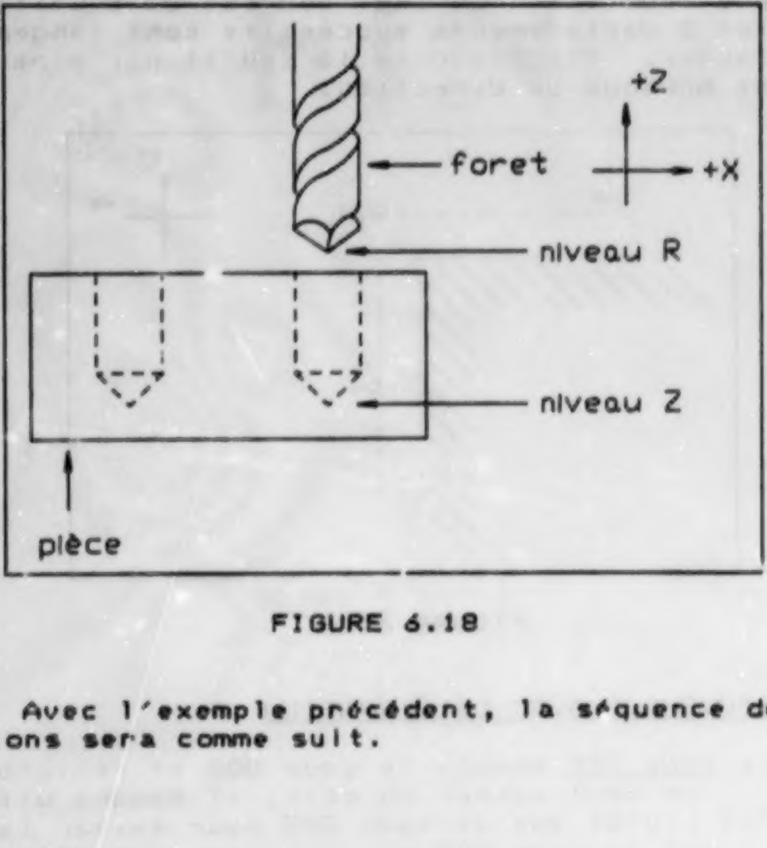


FIGURE 6.18

Avec l'exemple précédent, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil se déplace en avance programmée F=20.0 à la position (9,5).
2- Il descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
3- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
4- Il remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
5- Il se déplace en avance programmée F=20.0 à la position (7,3).
6- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
7- Il remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
8- Il se déplace en avance programmée F=20.0 à la position (4,2).

Puisque le cycle de perçage G81 est écrit dans cette partie du programme, à chaque bloc d'informations programmé, il y aura un trou de percé jusqu'à ce que le code G80 annule le cycle de perçage. Dans la section de programme pièce précédente, il y aura un trou de percé au point (9,5) et au point (7,3). Il n'y aura pas de trou de percé au point (4,2) puisque le code G80 est écrit avant le bloc qui positionne le foret en (4,2). L'outil se déplace d'un trou à l'autre selon la vitesse d'avance programmée avant le cycle G81.

Dans ce cas-ci, le déplacement de X=9.0 et Y=5.0 à X=2.0 et Y=3.0 s'exécute en avance programmée de F=20.0, puisque les mots G01 F20. sont écrits au bloc précédant le cycle G81. Les déplacements d'un trou à l'autre s'exécutent au niveau R.

G82 --- CYCLE DE PERÇAGE AVEC TEMPORISATION (Z-R-D-F)

Ce cycle est le même que le cycle G81 sauf qu'avant la remontée du foret, ce dernier demeure un certain temps au niveau Z.

```
    !
G01 X+9.0 Y+5.0 F20. *
G82 Z-0.25 R0.1 D7.0 F5. *
    !
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- La broche tourne sur elle-même pendant un temps D=7.0 secondes.
4- L'outil remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.

G83 --- CYCLE DE PERÇAGE DE TROUS PROFONDS
(Z-R-I-K-F)

Ce cycle ressemble aux précédents sauf que le perçage s'effectue en plusieurs passes "peck drilling".

```
:
G01 X5.0 Y8.0 F20. *
G83 Z-1.0 R0.1 I0.05 K0.2 F5. *
X5.0 Y12.0 *
:
```

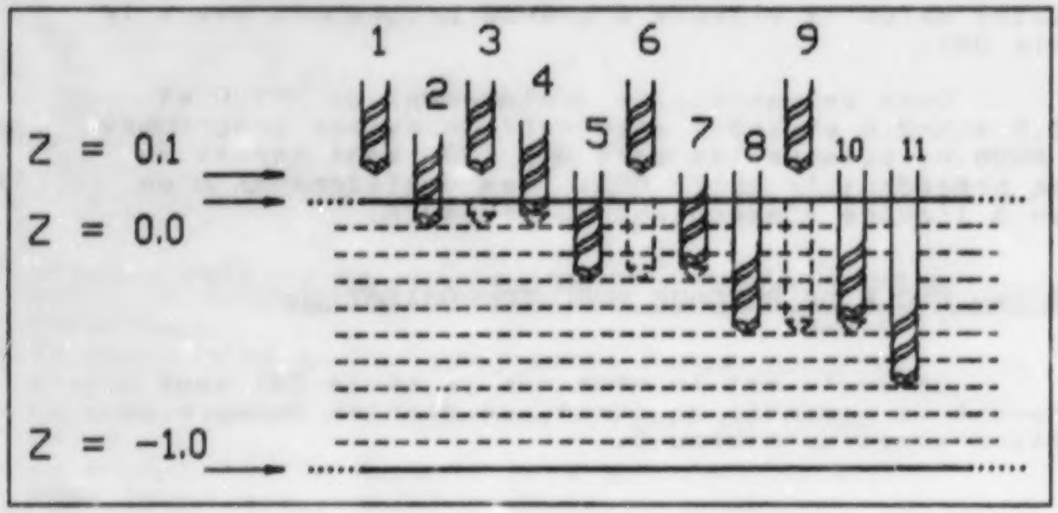


FIGURE 6.19

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend de K=0.2 en avance programmée F=5.0.
3- Il remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
4- Il descend de K-I=0.15 en avance rapide.
5- Il descend de I+I=0.25 en avance programmée F=5.0.
6- Il remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
7- Il descend de 2K-I=0.35 en avance rapide.
8- Il descend de K+I=0.25 en avance programmée F=5.0.
9- Il remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
10-Il descend de 3K-I=0.55 en avance rapide. Etc.

Un trou est alors percé en (5,8), ensuite l'outil va jusqu'en (5,12) selon une vitesse d'avance programmée de F=20.0, puis perce un trou identique.

G84 --- CYCLE DE TARAUDAGE (Z-D-R-F)

```
 :
G01 X3.0 Y4.0 *
G84 Z-0.25 R0.1 D7.0 F5. *
X3.0 Y8.0 *
G80 *
X0.0 Y0.0 *
 :
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1 en tournant avec la broche dans le sens horaire.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- La broche arrête de tourner pendant un temps D=7.0 s.
4- La broche tourne dans le sens antihoraire en même temps que l'outil remonte en avance programmée F5.0 jusqu'au niveau R=0.1.
5- La broche arrête de tourner pendant un temps D=7.0 s.
6- La broche tourne dans le sens horaire.

Un filet sera usiné en (3,4) et en (3,8) mais pas en (0,0) puisque le cycle a été annulé par le code G80 au bloc précédant le positionnement en (0,0).

Il faut que le programmeur calcule quelle vitesse d'avance de l'outil pour la vitesse de rotation de la broche programmée donnera un bon filet.

$$\text{L'AVANCE (po/min)} = \frac{\text{RPM}}{\text{PAS (filet/pouce)}}$$

Donc si le RPM est de 100 et que le pas désiré est de 16 filets au pouce:

L'AVANCE = 100 / 16 = 6.25 po/min

N.B. Dans cet exemple-ci, nous avons mentionné que la broche tournait dans le sens horaire au début du cycle. Ceci donnera un filet conventionnel dit "à droite". Pour obtenir un filet "à gauche", il faut que la rotation de la broche soit anti-horaire. Il faut de plus choisir un outil pour tailler des filets "à gauche".

<u>G85 --- CYCLE D'ALÉSAGE</u> (Z-R-F)

```
      :
G01 X3.0 Y4.0 *
G85 Z-0.25 R0.1 F5. *
      :
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- Il remonte en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau R=0.1.

<u>G86 --- CYCLE D'ALÉSAGE AVEC ARRÊT, TEMPORISATION ET REMONTÉE EN AVANCE RAPIDE</u> (Z-R-D-F)

```
      :
G01 X3.0 Y4.0 *
G86 Z-0.25 R0.1 D7.0 F5. *
      :
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- La broche arrête de tourner pendant un temps D=7.0 s.
4- L'outil remonte en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
5- La broche se met à tourner.

N.B. Avec le contrôle "GE 550 MC", le code G86 définit un cycle de fraisage plutôt que d'alésage.

<u>G87 --- CYCLE D'ALÉSAGE AVEC ARRÊT</u> (Z-R-F)

```
:
G01 X3.0 Y4.0 *
G87 Z-0.25 R0.1 F5. *
:
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- La broche arrête de tourner.
4- L'outil remonte en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau R=0.1.
5- La broche se met à tourner.

<u>G88 --- CYCLE D'ALÉSAGE AVEC ARRÊT, TEMPORISATION ET REMONTÉE EN AVANCE PROGRAMMÉE</u> (Z-R-D-F)

```
:
G01 X3.0 Y4.0 *
G88 Z-0.25 R0.1 D7.0 F5. *
:
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- Il tourne sur place pendant un temps D=7.0 s.
4- La broche arrête de tourner.
5- L'outil remonte en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau R=0.1.
6- La broche se met à tourner.

G89 --- CYCLE D'ALÉSAGE AVEC TEMPORISATION (Z-R-D-F)

```
      :
G01 X3.0 Y4.0 *
G89 Z-0.25 R0.1 D7.0 F5. *
      :
```

Ici, la séquence des opérations sera comme suit.

1- L'outil descend en avance rapide jusqu'au niveau R=0.1.
2- Il descend en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau Z=-0.25.
3- Il tourne sur place pendant un temps D=7.0 s.
4- L'outil remonte en avance programmée F=5.0 jusqu'au niveau R=0.1.

G80 --- ANNULATION DU CYCLE FIXE D'USINAGE

Le code G80 annule les cycles fixes d'usinage définis par les codes G81 à G89.

6.3.9 Groupe 9 --> Les autres codes

G25 --- COMPENSATION POUR L'IMPRÉCISION DE LA MOCN

Il y a toujours une limite à la précision d'une MOCN. Avec le code G25, on peut améliorer cette précision. L'opérateur entre des valeurs de compensation pour les axes X, Y, Z, A, B,... dans un tableau par l'intermédiaire du clavier du DCN. Lorsque le code G25 apparaît dans le programme pièce, toutes les valeurs des déplacements suivant le sens négatif d'un axe sont décalées de la valeur indiquée par l'opérateur dans le tableau, pour compenser le jeu de la vis d'avance. Lorsque le code G25 réapparaît une 2e fois, le décalage est annulé peu importe si l'outil se déplace dans le sens négatif ou positif de l'axe.

Un tel code est surtout utilisé pour compenser le "backlash" des vis d'avance. Un code G25 est inscrit au début du programme. Lorsque l'outil se déplace dans le sens positif d'un axe, la valeur programmée du point à atteindre n'est pas décalée. Lorsque l'outil se déplace dans le sens négatif d'un axe, la valeur programmée du point à atteindre selon cet axe est décalée pour compenser le jeu de la vis d'avance.

G26 --- APPROCHE UNIDIRECTIONNELLE

Encore dans le but d'améliorer la précision de l'usinage, le code G26 provoque un déplacement final unidirectionnel. Ce code est utilisé en perçage de précision.

Lorsque le déplacement de l'outil se fait dans la direction négative, l'approche finale se fait à une vitesse d'avance fixée par le DCN. Lorsque le déplacement de l'outil se fait dans la direction positive, l'outil dépasse la cote programmée d'une valeur fixe puis revient à cette cote à vitesse fixe (la même que pour le déplacement négatif). Donc peut importe la direction du mouvement programmé, l'outil terminera son mouvement toujours dans la même direction et à la même vitesse.

Un 1er code G26 active la fonction du déplacement unidirectionnel et un 2e code G26 désactive cette fonction. Les codes G00, G01 et G05 sont les codes qui peuvent être affectés par le code G26. Les codes G02 et G03 ne sont pas affectés par le code G26.

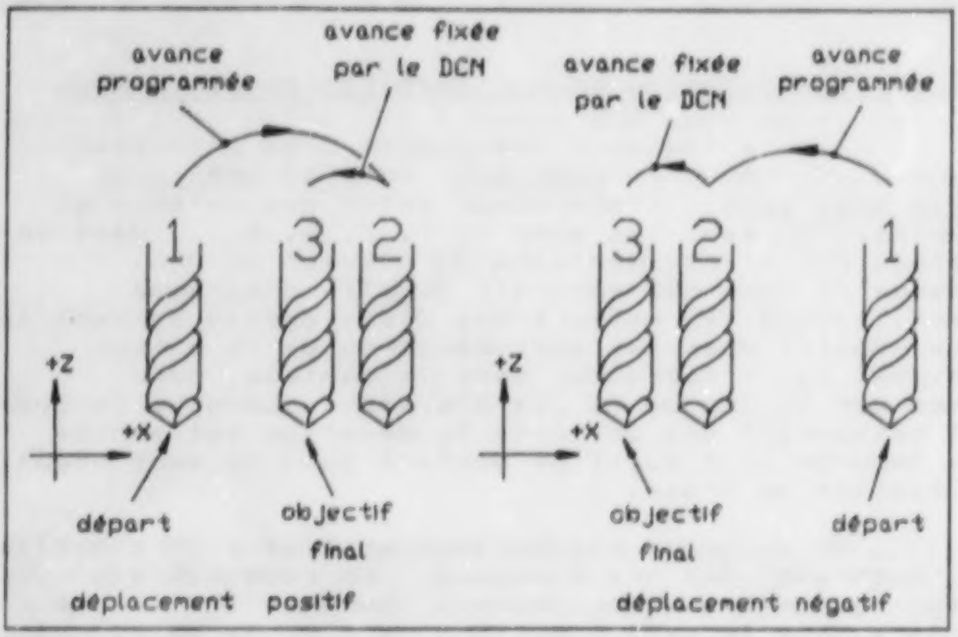


FIGURE 6.20

G27 --- VÉRIFICATION DE LA POSITION RÉELLE

Sans le code G27, lorsqu'un déplacement est commandé, l'outil s'approche de la position à atteindre et lorsqu'il est à une distance très faible de cette position, le bloc suivant est alors exécuté. Le DCN évalue la distance entre la position programmée et la position réelle et lorsque cette distance est suffisamment petite, il exécute le bloc suivant.

Avec le mot G27, l'outil doit s'approcher encore plus près de la position à atteindre pour que le bloc suivant soit exécuté. Un 1er mot G27 active cette forme de positionnement et un 2e mot G27 la désactive.

G28 --- OMISSION DE BLOCS

Il arrive qu'un programme pièce ressemble à un autre, mais ayant comme différence qu'il contient une section de programme de plus ou de moins. On place un '/' devant chaque bloc qui est susceptible d'être omis.

Si l'on désire annuler les blocs précédés d'un '/', on ajoute dans le programme une ligne contenant le code G28 avant ces blocs et un autre code G28 après ces blocs. Sans code G28, tous les blocs sont exécutés. Tous les blocs précédés d'un '/' et qui sont placés entre les 2 codes G28 sont omis, les autres blocs sont exécutés.

```
  :
G01 X0.0 *
G28 *
X1.0 *
/ X2.0 *
G28 *
X3.0 *
/ X4.0 *
  :
```

Dans le programme pièce précédent, l'outil se déplace jusqu'à X0.0, jusqu'à X1.0, jusqu'à X3.0 et jusqu'à X4.0. Le déplacement jusqu'à X2.0 est omis puisque le bloc X2.0 * est précédé d'un '/' et est situé entre 2 blocs G28. Le déplacement jusqu'à X4.0 est exécuté puisque le bloc / X4.0 * n'est pas situé entre 2 codes G28.

G30 --- IMAGE MIROIR

Lorsqu'une pièce à usiner est symétrique par rapport à 1 ou 2 axes, ce code peut être très utile. L'on peut alors usiner un 1er côté de la pièce, répéter la même section de programme et le 2e côté sera alors usiné moyennant quelques instructions de plus. Le DCN aura alors changé de signe toutes les cotes X et/ou Y de la 2e section de programme pièce.

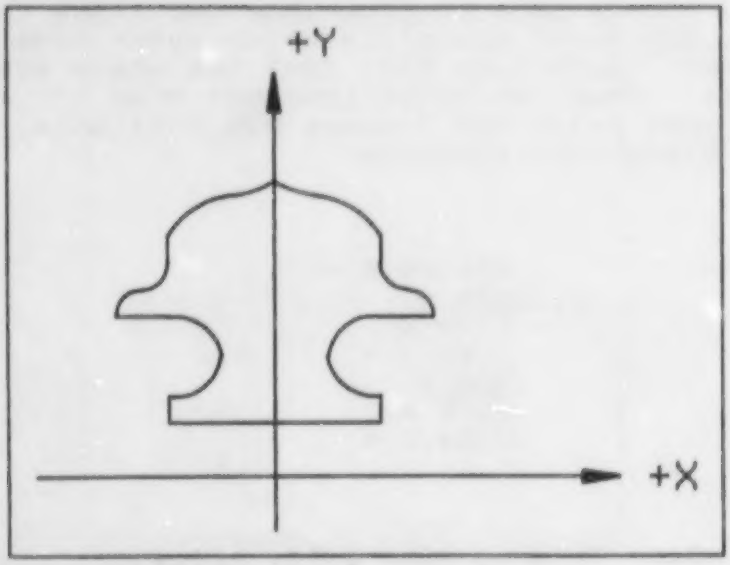


FIGURE 6.21

La figure 6.21 montre une pièce symétrique par rapport à l'axe Y. Un programmeur pourra donc écrire le programme pour 1 côté seulement de la pièce et avec un code G30 et G31, il pourra usiner les 2 côtés.

G31 --- ANNULATION DE L'IMAGE MIROIR

Le code G31 annule le code G30.

```
       !
G01 X0.0 Y0.0 F400.0 *
X2.0 Y1.0 F8.0 *
G02 X3.0 Y2.0 I1.0 *
       !
G30 Y *
G01 X0.0 Y0.0 F400.0 *
X2.0 Y1.0 F8.0 *
G02 X3.0 Y2.0 I1.0 *
       !
G31 *
       !
```

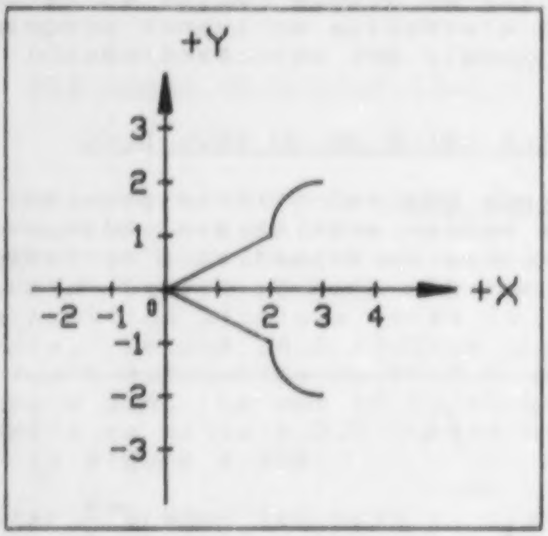


FIGURE 6.22

La section de programme comprise entre les codes G30 et G31 est une répétition de la section écrite un peu plus haut dans le programme pièce, mais le DCN change le signe de tous les Y qu'il rencontre parce que le bloc G30 Y * est inscrit. Le DCN change aussi les G02 en G03 et inversement, mais il ne change pas le sens de rotation de la broche.

G05 --- DÉPLACEMENT RAPIDE (NON MODAL)

Le code G05 est semblable au code G00, sauf qu'au lieu d'être modal, il est non modal. Lorsque le code G00 est inscrit dans un programme pièce, les déplacements se feront en avance rapide jusqu'à ce qu'un code G01, G02 ou G03 soit rencontré. Avec le code G05, le bloc concerné et seulement ce bloc provoquera un déplacement rapide.

Programme A	Programme B
:	:
G01 X1.0 *	G01 X1.0 *
G00 X3.0 *	G05 X3.0 *
X8.0 *	X8.0 *
:	:

Dans le programme A, les déplacements jusqu'à X3.0 et jusqu'à X8.0 s'effectuent en avance rapide.

Dans le programme B, le déplacement jusqu'à X3.0 s'effectue en avance rapide et le déplacement jusqu'à X8.0 s'effectue en avance programmée, puisque la fonction modale G01 est réactivée.

G36 --- CERCLE USINÉ EN UN SEUL BLOC

Le code G36 est utilisé pour usiner 1/2, 3/4 ou un cercle entier avec un seul bloc de programmation, si le point de départ et d'arrivée du trajet sont situés sur les axes X, Y ou Z du centre du cercle.

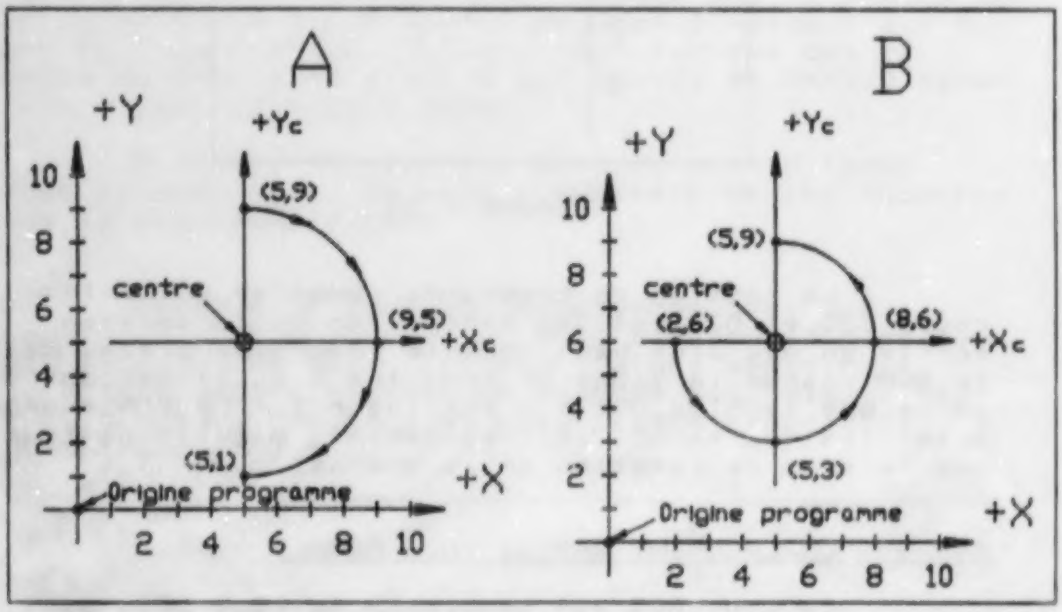


FIGURE 6.23

Les trajets montrés à la figure 6.23 sont réalisables avec le code G36 puisqu'ils commencent sur un axe et se terminent sur un axe du centre du cercle.

Programme de la figure 6.23A

```
:
G01 X5.0 Y9.0 *
G02 G3602 X9.0 Y5.0 J4.0 *
:
```

Programme de la figure 6.23B

```
        :
G01 X2.0 Y6.0 *
G03 G3603 X5.0 Y3.0 I3.0 *
        :
```

Les caractères G36 indiquent la fonction préparatoire du cercle usiné en un seul bloc. Les caractères 02 et 03 indiquent le tracé de 2 et 3 quarts de cercle respectivement. Les mots X et Y indiquent la position atteinte après le tracé du 1er quart de cercle. Le mot J4.0 indique que le centre du cercle se situe à 4.0 unités de Y=+9.0 selon l'axe Y pour la figure 6.23A. Le mot I3.0 indique que le centre du cercle se situe à 3.0 unités de X=+2.0 selon l'axe X pour la figure 6.23B.

À noter, lorsque les mots I, J et K (pour l'axe Z) sont nuls, on peut s'abstenir de les inscrire dans le programme pièce.

Puisque le code G36 fonctionne avec une interpolation circulaire, il peut s'exécuter dans le plan X-Y, Z-X ou Y-Z. Il faudra alors définir le choix du plan de travail par un code G17, G18 ou G19 pour que le DCN sache dans quel plan s'effectue l'interpolation.

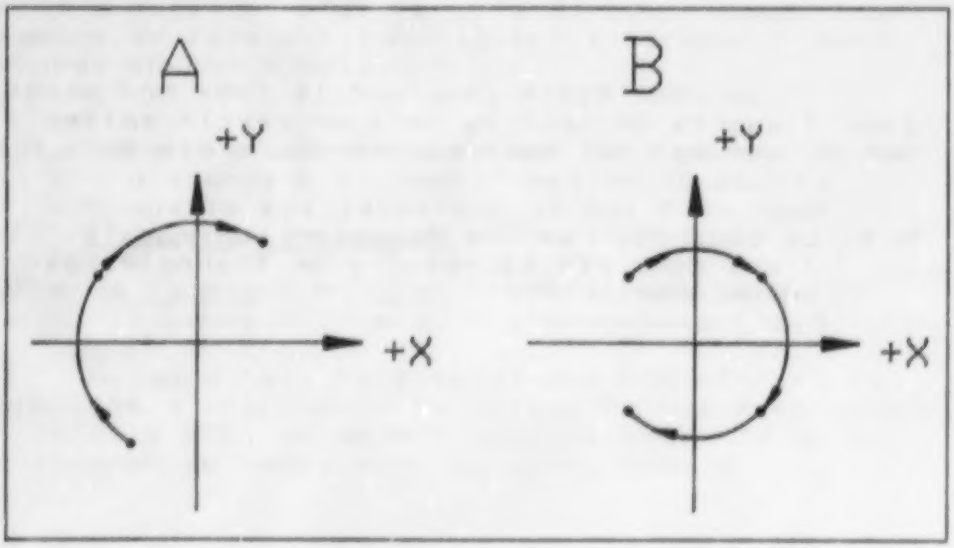


FIGURE 6.24

Les trajets montrés à la figure 6.24 ne sont pas réalisables avec le code G36 puisqu'ils ne commencent pas et ne se terminent pas sur un axe du centre du cercle.

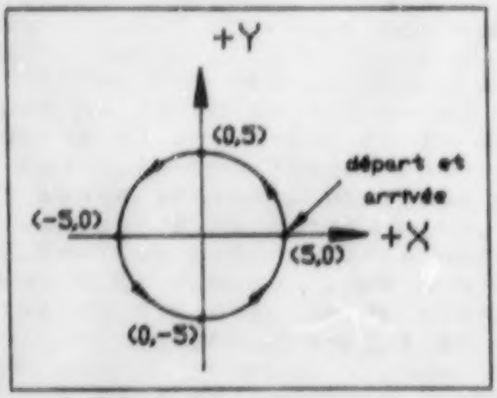


FIGURE 6.25

Le trajet montré à la figure 6.25 est exécutable par la section de programme qui suit.

```
:
G01 X5.0 Y0.0 *
G03 G3604 X0.0 Y5.0 I5.0 *
:
```

Le code G3604 comprend le code G36 suivi de 04 pour 4 quarts de cercle, soit un cercle entier. Le mot J, qui est nul dans ce cas-ci, a été omis.

N.B. Le code G36 est une fonction non modale. Il n'est donc pas nécessaire de l'annuler par un autre code.

6.4 LE MOT 'F', LA VITESSE D'AVANCE

La lettre F suivie de chiffres est un mot qui indique la vitesse d'avance de l'outil par rapport à la pièce. Cette vitesse d'avance est comprise par le DCN en po/min ou en mm/min la plupart du temps.

```
:
G70 *
G01 X0.0 Y0.0 F400.0*
G01 X5.0 Y3.0 F5.0 *
:
```

Le déplacement de (0,0) à (5,3) s'exécute à la vitesse programmée de 5 po/min. Le mot F est utilisé avec les codes G01, G02, G03 et les cycles fixes d'usinage.

Certains DCN donnent une autre valeur au mot F pour désigner la vitesse d'avance, soit celle en <u>mode inverse du temps</u>.

$$F = \frac{\text{vitesse d'avance en po/min}}{\text{distance à parcourir en pouce}}$$

On peut comprendre la signification des valeurs données en mode inverse du temps comme étant le nombre de fois que la distance à parcourir sera parcourue en une minute.

Exemple: La vitesse d'avance est de 5 po/min et la distance à parcourir est de 10 pouces. Quelle est la valeur du mot F en mode inverse du temps?

$$F = \frac{5\ \text{po/min}}{10\ \text{pouce}} = \frac{0.5}{\text{min}}$$ (On écrira dans le) (programme F+0.5)

Aujourd'hui, la plupart des DCN offrent la possibilité d'introduire la valeur du mot F en po/min avec le code G70, en mm/min avec le code G71 ou en mode inverse du temps avec un autre code G.

6.5 LE MOT 'S', LA VITESSE DE ROTATION DE LA BROCHE

La lettre S suivie de chiffres est un mot qui indique la vitesse de rotation de la broche. La fraiseuse "POSITOOL CNC" se programme en RPM (Révolutions Par Minute). D'autres DCN se programment quelquefois avec des nombres, où chaque nombre représente une vitesse de rotation bien précise, définie par le constructeur du DCN.

```
:
M03 S2000 *
G01 X5.0 Y3.0 *
G81 Z-0.25 R0.1 F5. *
:
```

L'outil tourne à une vitesse de 2000 RPM lors du perçage d'un trou à la position (5,3). Nous verrons à la section 6.7.2 le code M03.

6.6 LE MOT 'T', LA SÉLECTION DE L'OUTIL ET DE LA COMPENSATION D'OUTIL

La lettre T suivie de chiffres est un mot qui indique le numéro de l'outil ou de la compensation d'outil. Pour certaines MOCN, le mot T14, par exemple, provoque un mouvement du magasin d'outil tel que l'outil numéro 14 est placé en position, prêt à remplacer l'outil en opération. Par la suite, un code M actionne le changement d'outil dans la broche. Pour la fraiseuse à contrôle "POSITOOL CNC", le mot T14 sert à identifier l'outil et la compensation de l'outil.

```
:
M00 *
T02 *
S2000 M03 *
G80 X5.0 Y3.0 *
:
```

Dans la section de programme précédente, la compensation d'outil est considérée par le DCN comme étant la compensation d'outil numéro 2. Dans un tableau appelé tableau des compensations d'outil, l'opérateur indique le numéro, la longueur et le diamètre des outils utilisés. Le DCN garde en mémoire ces informations et lorsque le programme pièce lui spécifie de travailler avec l'outil numéro 2, le DCN est capable de faire les compensations d'outil appropriées pour cet outil.

6.7 LE MOT 'M', LA FONCTION AUXILIAIRE

La lettre M suivie de 2 chiffres est un mot qui indique au DCN divers fonctionnements.

6.7.1 Groupe 1 --> M00-M01-M02-M30

M00 --- ARRÊT DU PROGRAMME

Le code M00 ordonne l'arrêt de la rotation de la broche, de la coulée du fluide de coupe et du mouvement des constituants de la MOCN. Il est utilisé surtout pour les changements manuels d'outil et pour introduire des opérations en mode direct de programmation.

Lorsque le DCN lit M00, il arrête l'exécution du programme pièce, arrête le mouvement de l'outil, les fluides de coupe, etc. L'opérateur peut alors exécuter l'ouvrage qu'il ne pourrait pas faire si l'outil était en mouvement, question de sécurité et de vitesse des mouvements. Il peut au moment voulu continuer l'exécution du programme au bloc suivant le code M00, en pressant la touche "START".

Le programmeur ne doit pas redéfinir un code G90 ou G91 et un code G70 ou G71. Le DCN garde les fonctions prioritaires G définies avant le code M00.

M01 --- ARRÊT FACULTATIF DU PROGRAMME

Le code M01 ressemble au code M00 sauf qu'il est facultatif. Ce code est considéré par le DCN seulement si la touche "OP STOP" est en position "ON" sur le clavier du DCN.

M30 --- FIN DU PROGRAMME PIÈCE ET REBOBINAGE DE LA BANDE PERFORÉE

Ce code indique la fin du programme pièce et provoque le rebobinage de la bande perforée (s'il y en a une), ce qui prépare l'usinage de la pièce suivante. Le rebobinage s'effectue jusqu'à la rencontre du caractère "%" qui doit être inscrit au début de la bande.

N.B. Il n'existe pas de code M02 avec un contrôle "POSITOOL CNC", mais avec un contrôle "GE 550 MC", le code M02 est semblable au code M30, sauf qu'il ne permet pas le rebobinage.

6.7.2 Groupe 2 --> M03-M04-M05

M03 --- ROTATION HORAIRE DE LA BROCHE

Ce code permet la rotation de la broche dans le sens horaire, à la vitesse de rotation spécifiée par le mot S. Pour reconnaître si une rotation est horaire ou antihoraire, il faut regarder dans la direction négative de l'axe Z.

M04 --- ROTATION ANTIHORAIRE DE LA BROCHE

Ce code permet la rotation de la broche dans le sens antihoraire, à la vitesse de rotation spécifiée par le mot S.

M05 --- ARRÊT DE LA ROTATION DE LA BROCHE

Ce code permet d'arrêter la rotation de la broche.

Le code M05 annule les codes M03 et M04.

6.7.3 Groupe 3 --> M07-M08-M09

M07 --- ARROSAGE NUMÉRO 2

Ce code actionne l'arrosage de la pièce et/ou de l'outil par la vaporisation d'un fluide de coupe.

M08 --- ARROSAGE NUMÉRO 1

Ce code actionne l'arrosage de la pièce et/ou de l'outil par la coulée liquide d'un fluide de coupe.

M09 --- ARRÊT DE L'ARROSAGE

Ce code permet d'arrêter l'arrosage de la pièce et/ou de l'outil.

Le code M09 annule les codes M07 et M08.

6.7.4 Groupe 4 --> Les autres codes

M06 --- CHANGEMENT D'OUTIL

Si la MOCN est munie d'un changeur d'outil automatique, le code M06 actionne le changement de l'outil en opération par l'outil dont le numéro est spécifié par le mot T du même bloc d'informations.

```
:
M00 *
M06 T04 *
S2000 M03 *
G80 X5.0 Y3.0 *
:
```

Dans la section de programme précédente, l'outil et la compensation d'outil sont considérés par le DCN comme étant le numéro 4.

Il est possible que le numéro de l'outil ne corresponde pas au numéro de la compensation d'outil. La section de programme qui suit peut régler ce problème.

```
  :
M00 *
M06 T0307 *
S2000 M03 *
G80 X5.0 Y3.0 *
  :
```

Le DCN interprète donc qu'il travaille avec l'outil numéro 3 et avec la compensation d'outil numéro 7. Si un programme pièce comprend le mot T00, le DCN annule la compensation d'outil effective à ce moment.

M10 --- BRIDAGE DE LA BROCHE

Ce code actionne le bridage de la broche. Ceci permet d'usiner les pièces avec une meilleure précision et avec moins de vibrations au niveau de la broche. Ce dispositif existe aussi sur la plupart des fraiseuses conventionnelles.

Il est préférable d'employer le code M10 lors de tout fraisage dans le plan X-Y, soit sans déplacement selon l'axe Z. Le bridage est actionné avant le déplacement dans le bloc auquel il prend place.

M11 --- DÉBRIDAGE DE LA BROCHE

Ce code actionne le débridage de la broche. Le débridage est actionné après le déplacement dans le bloc auquel il prend place.

Avec le contrôle "POSITOOL CNC", si un déplacement selon l'axe Z est programmé, la broche est automatiquement débridée pour ne pas briser les composantes de la bride. ATTENTION! ce n'est pas avec tous les contrôles que la broche est débridée automatiquement.

Le code M11 annule le code M10.

6.8 LE MOT 'D', LA TEMPORISATION

La lettre D suivie de chiffres est un mot qui arrête l'exécution du programme pièce pendant un temps bien déterminé. Ce mot est utilisé pour une opération de taraudage entre autre, où après la descente de l'outil en rotation, ce dernier doit s'immobiliser pendant un certain temps avant de remonter avec une rotation dans l'autre sens.

Sans le mot D, l'inertie de la broche provoquerait un manque partiel de synchronisation entre la descente et la rotation de l'outil.

```
:
G01 X5.0 Y5.0 *
G01 X0.0 Y0.0 D18.1 *
:
```

L'outil se déplace en (5,5), il reste à cette position 18.1 secondes et se déplace ensuite en (0,0). C'est donc dire qu'il y a une temporisation de 18.1 secondes avant le déplacement au point (0,0). Avec un contrôle "GE 550 MC", c'est le code G04 qui provoque une temporisation plutôt qu'un mot D.

Même si le mot D est placé à la fin du bloc, la temporisation est exécutée avant le déplacement en (0,0). ATTENTION! ce code ne doit pas être utilisé pour un travail manuel de l'opérateur; ceci pourrait compromettre sa sécurité et celle des autres personnes se trouvant dans le voisinage de la MOCN.

6.9 TABLEAUX DE PROGRAMMATION POUR UNE FRAISEUSE

--- TABLEAU DES ADRESSES ---
(Fraiseuse à contrôle Positool CNC)

A Mouvement de rotation autour de l'axe X.
B Mouvement de rotation autour de l'axe Y.
D Temporisation
F Vitesse d'avance.
G Fonction préparatoire.
I Position selon l'axe X du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire
(ou) indicateur de niveau pour perçage de trous profonds.
J Position selon l'axe Y du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire.
K Position selon l'axe Z du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire
(ou) indicateur de niveau pour perçage de trous profonds.
M Fonction auxiliaire.
N Numéro de bloc.
R Indicateur de niveau pour les cycles fixes d'usinage.
S Vitesse de rotation de la broche.
T Sélection de l'outil
(ou) sélection de la compensation d'outil.
W Mouvement secondaire de translation parallèle à l'axe Z.
X Mouvement principal de translation parallèle à l'axe X.
Y Mouvement principal de translation parallèle à l'axe Y.
Z Mouvement principal de translation parallèle à l'axe Z.

TABLEAU 6.1

--- TABLEAU DES CODES G ---
(Fraiseuse à contrôle Positool CNC)

G00 Déplacement rapide (modal).
G01 Interpolation linéaire.
G02 Interpolation circulaire, sens horaire.
G03 Interpolation circulaire, sens antihoraire.
G05 Déplacement rapide (non modal).
G08 Mouvement sans décélération.
G09 Mouvement avec décélération.
G17 Sélection du plan X-Y.
G18 Sélection du plan Z-X.
G19 Sélection du plan Y-Z.
G25 Compensation pour imprécision (backlash).
G26 Approche unidirectionnelle.
G27 Vérification de la position réelle.
G28 Omission de blocs.
G30 Image miroir.
G31 Annulation de l'image miroir.
G36 Cercle usiné en un seul bloc.
G40 Annulation de la compensation d'outil.
G41 Compensation d'outil à gauche.
G42 Compensation d'outil à droite.
G43 Anticipation pour les coins intérieurs à 90°.
G44 Annulation de l'anticipation G43.
G60 Début et fin de la filière des sous-programmes.
G61-69 Adresses des sous-programmes.
G70 Programmation en pouces.
G71 Programmation en millimètres.
G80 Annulation du cycle fixe d'usinage.
G81 Cycle de perçage.
G82 Cycle de perçage avec temporisation.
G83 Cycle de perçage de trous profonds.
G84 Cycle de taraudage.
G85 Cycle d'alésage.
G86 Cycle d'alésage avec arrêt et temporisation (remontée rapide).
G87 Cycle d'alésage avec arrêt.
G88 Cycle d'alésage avec arrêt et temporisation (remontée programmée).
G89 Cycle d'alésage avec temporisation.
G90 Programmation en coordonnées absolues.
G91 Programmation en coordonnées incrémentales.
G92 Redéfinition de l'origine des axes.

TABLEAU 6.2

--- TABLEAU DES CODES M ---
(Fraiseuse à contrôle Positool CNC)

M00 Arrêt du programme.
M01 Arrêt facultatif du programme.
M03 Rotation horaire de la broche.
M04 Rotation antihoraire de la broche.
M05 Arrêt de la rotation de la broche.
M06 Changement d'outil (si la MOCN est dotée d'un changeur automatique d'outils).
M07 Arrosage numéro 2 (vaporisation).
M08 Arrosage numéro 1 (coulée liquide).
M09 Arrêt de l'arrosage.
M10 Bridage de la broche.
M11 Débridage de la broche.
M30 Fin du programme et rebobinage de la bande perforée.

TABLEAU 6.3

--- TABLEAU DES FORMATS D'ADRESSE ---
(Fraiseuse à contrôle Positool CNC)

ADRESSE		FORMAT	LIMITE	RÉSOLUTION DU DCN
A		(+/-) XXXX.XXX	0 à 8388.607°	0.001°
B		(+/-) XXX.XXXX	0 à 838.8607°	0.0001°
D		XX.X	0 à 99.9 s	0.1 s
F	(mm)	XXXX.	13 à 9999 mm/min	1 mm/min
	(po)	XXX.X	0.5 à 400.0 po/min	0.1 po/min
G		XX ou XXXX	Voir tableau des codes G	
I J K	(mm)	XXXX.XXX	0 à 8388.607 mm	0.001 mm
	(po)	XXX.XXXX	0 à 838.8607 po	0.0001 po
M		XX	Voir tableau des codes M	
N		XXXX	0001 à 9999	1
R	(mm)(+/-)	XXXX.XXX	0 à 8388.607 mm	0.001 mm
	(po)(+/-)	XXX.XXXX	0 à 838.8607 po	0.0001 po
S		XXXX	70 à 4200 RPM	1 RPM
T		XX ou XXXX	01 à 32	1

Codes de fraisage

ADRESSE		FORMAT	LIMITE	RÉSOLUTION DU DCN
W	(mm)(+/-)	XXX.XXXX	0 à 838.8607 mm	0.0001 mm
	(po)(+/-)	XX.XXXXX	0 à 83.88607 po	0.00001 po
X Y Z	(mm)(+/-)	XXXX.XXX	0 à 8388.607 mm	0.001 mm
	(po)(+/-)	XXX.XXXX	0 à 838.8607 po	0.0001 po

TABLEAU 6.4

N.B. Ceci est un tableau des limites du DCN; cela ne veut pas dire que les limites de la fraiseuse sont les mêmes. Si la limite de la fraiseuse est atteinte avant celle du DCN, c'est la limite de la fraiseuse qui deviendra la limite de programmation.

--- TABLEAU DES CODES G ---
(Fraiseuse à contrôle GE 550 MC)

G00 Déplacement rapide.
G01 Interpolation linéaire.
G02 Interpolation circulaire, sens horaire.
G03 Interpolation circulaire, sens antihoraire.
G04 Temporisation.
G17 Sélection du plan X-Y.
G18 Sélection du plan Z-X.
G19 Sélection du plan Y-Z.
G40 Annulation de la compensation d'outil.
G41 Compensation d'outil à gauche.
G42 Compensation d'outil à droite.
G61 Cycle de perçage.
G80 Annulation du cycle fixe d'usinage.
G81 Cycle de perçage.
G82 Cycle de perçage avec temporisation.
G83 Cycle de perçage de trous profonds.
G84 Cycle de taraudage.
G85 Cycle d'alésage.
G86 Cycle de fraisage.
G87 Cycle d'alésage avec arrêt.
G90 Programmation en coordonnées absolues.
G91 Programmation en coordonnées incrémentales.
G92 Redéfinition de l'origine des axes.

TABLEAU 6.5

--- TABLEAU DES CODES M ---
(Fraiseuse à contrôle GE 550 MC)

M00 Arrêt du programme.
M02 Fin du programme.
M06 Cycle de changement d'outil.
M30 Fin du programme et rebobinage de la bande perforée.

TABLEAU 6.6

--- TABLEAU DES ADRESSES ---
(Fraiseuse à contrôle Hurco)

A Mouvement de rotation autour de l'axe X.
D Compensation du diamètre de l'outil.
F Vitesse d'avance.
G Fonction préparatoire.
I Position selon l'axe X du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire.
J Position selon l'axe Y du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire.
K Position selon l'axe Z du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire.
L Compensation de la longueur de l'outil.
M Fonction auxiliaire.
N Numéro de bloc.
S Vitesse de rotation de la broche.
T Sélection de l'outil.
X Mouvement principal de translation parallèle à l'axe X.
Y Mouvement principal de translation parallèle à l'axe Y.
Z Mouvement principal de translation parallèle à l'axe Z.

TABLEAU 6.7

--- TABLEAU DES CODES G ---
(Fraiseuse à contrôle Hurco)

G00	Déplacement rapide (modal).
G01	Interpolation linéaire.
G02	Interpolation circulaire, sens horaire.
G03	Interpolation circulaire, sens antihoraire.
G04	Temporisation.
G17	Sélection du plan X-Y.
G18	Sélection du plan Z-X.
G19	Sélection du plan Y-Z.
G40	Annulation de la compensation d'outil.
G41	Compensation d'outil à gauche.
G42	Compensation d'outil à droite.
G70	Programmation en pouces.
G71	Programmation en millimètres.
G74	Annulation de l'interpolation circulaire G75.
G75	Interpolation circulaire dans plusieurs quadrants.
G80	Annulation du cycle fixe d'usinage.
G81	Cycle de perçage.
G82	Cycle de perçage avec temporisation.
G83	Cycle de perçage de trous profonds.
G84	Cycle de taraudage.
G85	Cycle d'alésage.
G86	Cycle d'alésage avec arrêt.
G87	Cycle de perçage par becquetage.
G89	Cycle d'alésage avec temporisation.
G90	Programmation en coordonnées absolues.
G91	Programmation en coordonnées incrémentales.
G92	Redéfinition de l'origine des axes.

TABLEAU 6.8

--- TABLEAU DES CODES M ---
(Fraiseuse à contrôle Hurco)

M00	Arrêt du programme.
M01	Arrêt facultatif du programme.
M02	Fin du programme.
M03	Rotation horaire de la broche.
M04	Rotation antihoraire de la broche.
M05	Arrêt de la rotation de la broche.
M06	Changement d'outil.
M07	Arrosage numéro 2 (vaporisation).
M08	Arrosage numéro 1 (coulée liquide).
M09	Arrêt de l'arrosage.
M19	Arrêt orienté de la broche.
M20	Rotation de l'indexeur.
M25	Retour à l'origine selon l'axe X.

TABLEAU 6.9

CHAPITRE 6

LES CODES DE PROGRAMMATION
OPÉRATIONS DE FRAISAGE

TRAVAUX

---

1 - Quel code permet de programmer en pouces?

2 - Si le programme contient un code G90, est-ce que les déplacements sont en coordonnées absolues ou incrémentales?

3 - Voici un bloc d'informations.

M03 S400 *

A) À quelle vitesse tourne la broche?
B) Dans quel sens tourne la broche?

4 - Voici un bloc d'informations.

T0201 *

A) Quel est le numéro de l'outil?

B) Quel est le numéro de la compensation d'outil?

5 - Voici une section de programme.

M03 *
G84 Z-2.5 R1.0 D7.0 F5. *

Le filet sera-t-il "à droite" ou "à gauche"?

6 - Voici 4 blocs d'informations semblables.

1 -	G02	X1.0	Z1.0	K2.0	I1.0	F2.0 *
2 -	X1.0	Z1.0	G02	K2.0	I1.0	F2.0 *
3 -	G02	X1.0	Z1.0	I1.0	K2.0	F2.0 *
4 -	F2.0	G02	I1.0	K2.0	X1.0	Z1.0 *

A) Lequel est écrit dans le bon ordre?

B) Est-ce que tous ces blocs donnent le même résultat sur la MOCN?

7 - Voici une section de programme pièce. (Nous travaillons dans le plan Z-X.)

```
!
G18 *
G03 X1.0 Z2.0 I2.0 J3.0 *
!
```

Cette section de programme est-elle correcte? Expliquez.

8 - Voici une section de programme

```
!
G70 *
G01 X0.0 Y0.0 Z3.0 *
G82 Z1.0 R2.0 D2.0 F7. *
!
```

A) Jusqu'à quel niveau sera percé le trou?

B) Quel est le temps d'arrêt avant la descente de l'outil?

C) Quel est le temps d'arrêt après la descente de l'outil?

D) À quelle vitesse l'outil perce-t-il?

E) À quelle vitesse l'outil remonte-t-il?

F) Jusqu'à quel niveau remonte l'outil?

G) Donnez les coordonnées du fond du trou?

9 - Est-il logique de retrouver les 2 mots suivants dans le même bloc?

A) F10. et G01
B) G01 et G02
C) M03 et M05
D) M05 et M09

10 - Lequel des 2 blocs d'informations risque le plus de briser l'outil contre la pièce?

Bloc A	Bloc B
G00 X2.0 *	G01 X2.0 F2.0 *

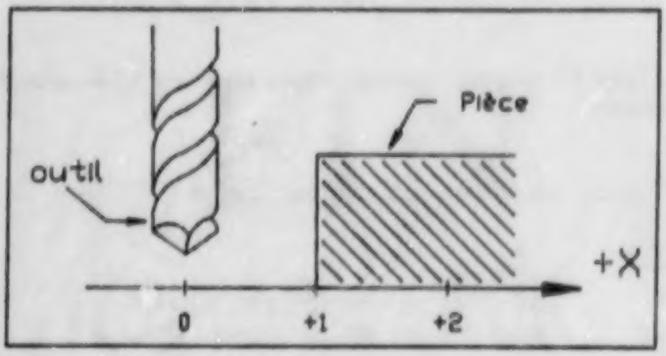


FIGURE 6.A

11 - Dessinez le trajet de l'outil du programme suivant. Le départ est au point X=0, Y=0.

```
G90 *
G01 X1.0 F10. *
Y2.0 *
G91 *
X1.0 *
Y2.0 *
G90 *
X3.0 *
Y-1.0 *
G91 *
X-4.0 *
Y1.0 *
```

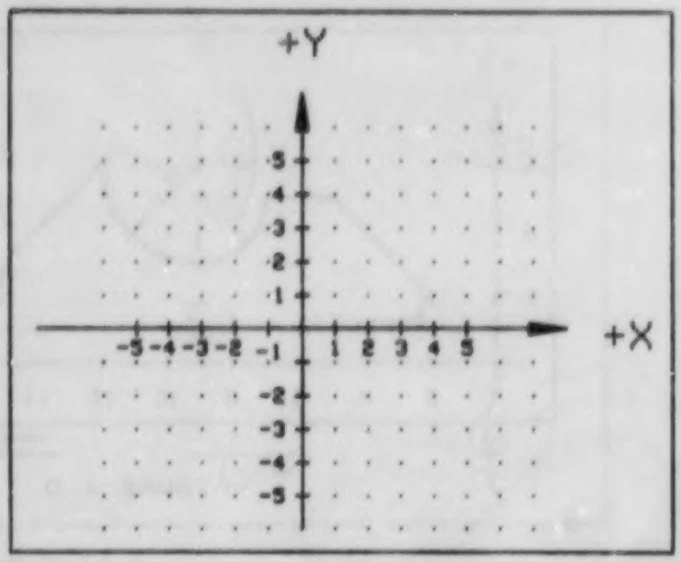


FIGURE 6.B

12 - La ligne pleine représente le trajet programmé.

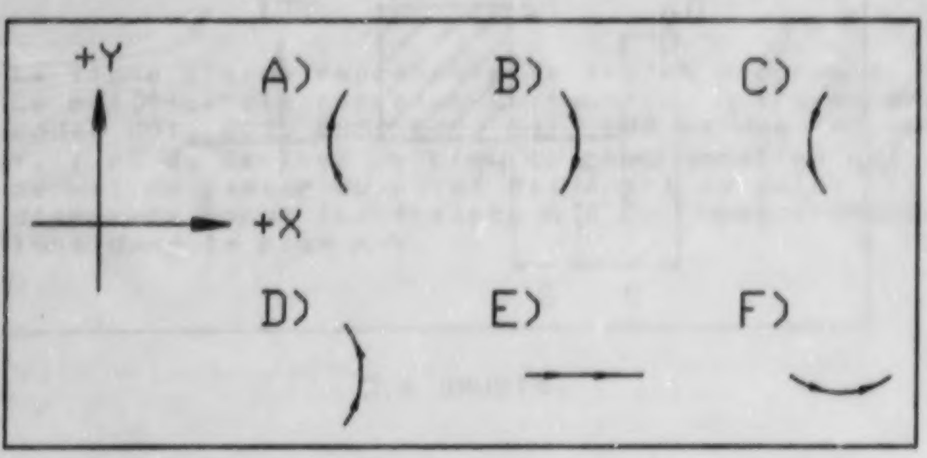


FIGURE 6.C

Dites pour chacun des trajets A à F, s'il est exécuté par un code G01, G02 ou G03.

13 - Écrivez le trajet programmé à l'aide des mots G01, G02, G03, X, Y, I et J seulement. Le programme est en coordonnées absolues.

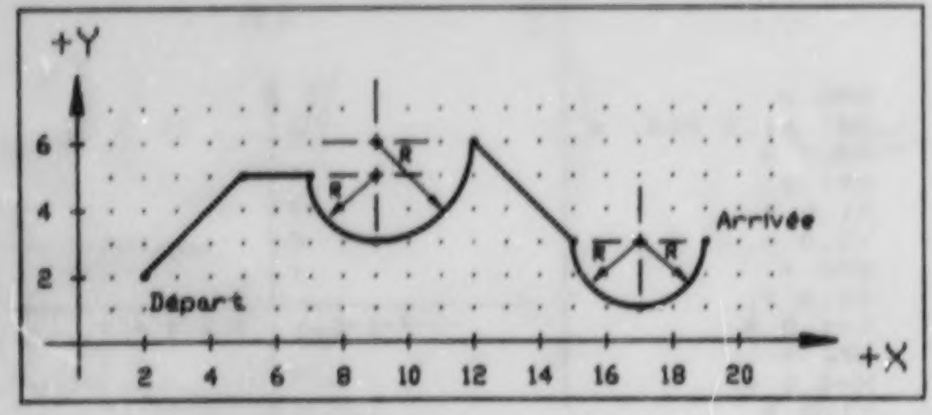


FIGURE 6.D

14 - L'outil se trouve au point Oo (Origine outil) avant le début du programme.
(Op = Origine programme)

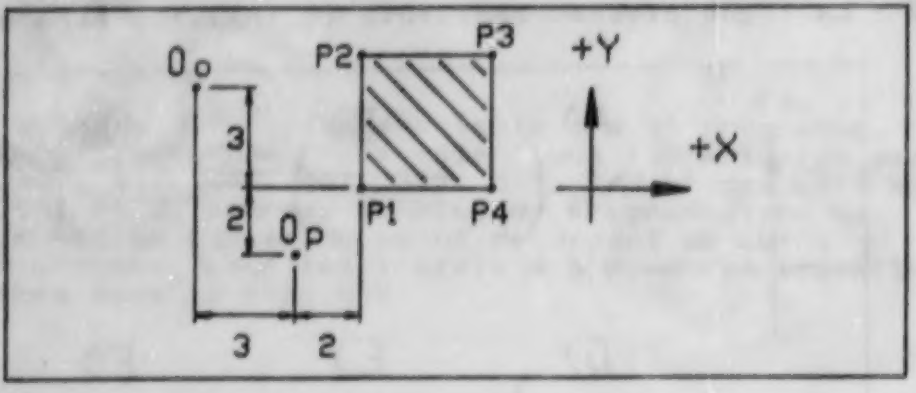


FIGURE 6.E

Complétez le bloc d'informations suivant:

G92 X____ Y____ *

15 - La ligne représente le trajet programmé. Le petit cercle représente l'outil.

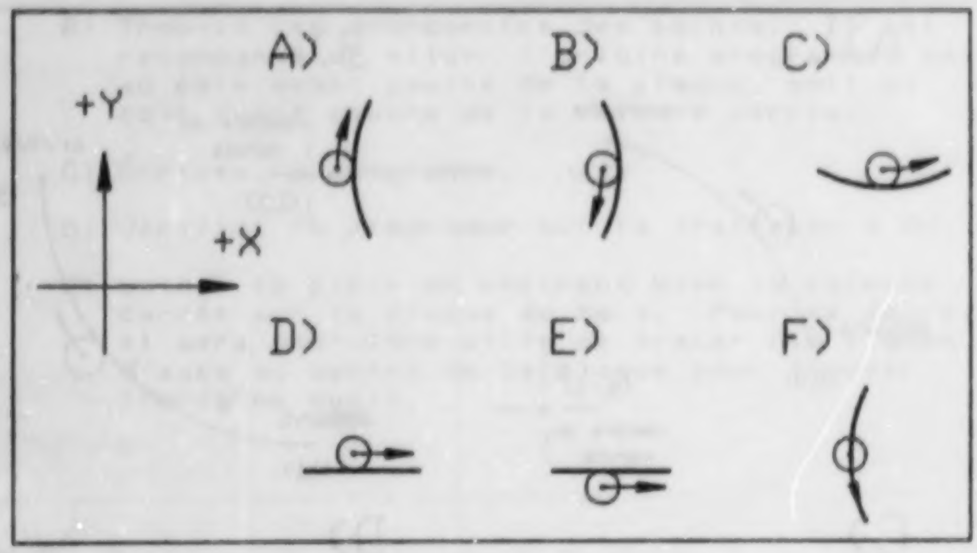


FIGURE 6.F

Dites pour chacun des trajets A à F, s'il est exécuté par un code G40, G41 ou G42.

16 - La ligne pleine représente le trajet programmé. Le petit cercle représente l'outil. À l'aide des codes G01, G02, G03, G40, G41, G42 et des mots X, Y, I et J, écrivez le bloc de programmation qui permet de passer du point de départ au point d'arrivée, pour les trajets A à D. Nous travaillons dans le plan X-Y.

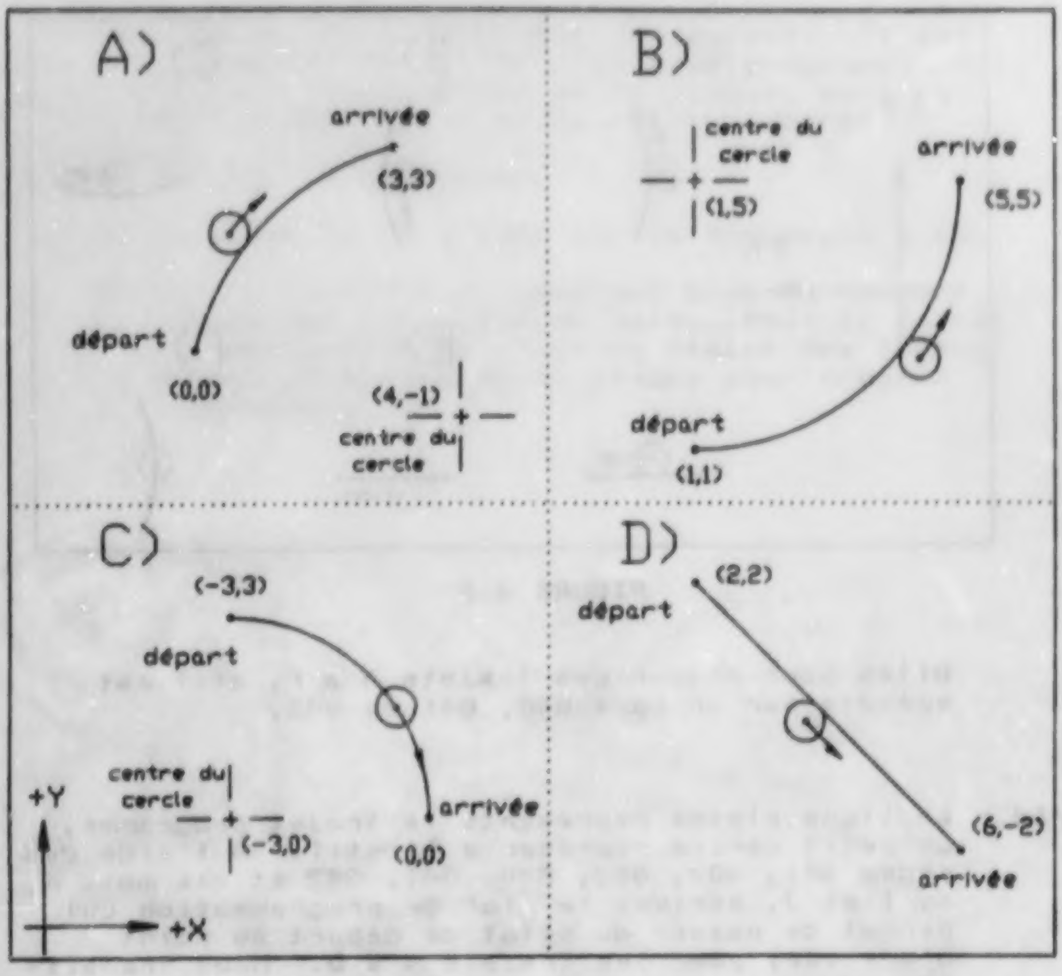


FIGURE 6.G

17 - Vous devez fabriquer une pièce sur la fraiseuse à CN. Cette pièce comprendra un tracé de vos initiales (dessinées de façon artistique), entourées d'une rainure carrée de 3" * 3".

- L'outil utilisé est une fraise en bout à rainurer en forme de balle à 2 dents, HSS, ϕ 3/16". La profondeur de coupe est de 50/1000".

- Le matériau utilisé est une plaque de bois d'érable d'au moins 4" * 4" * 1/2".

Codes de fraisage

A) Dessinez les initiales et le cadre sur une feuille quadrillée.

B) Trouvez les coordonnées des points. Il est recommandé de situer l'origine programme, soit au coin avant gauche de la plaque, soit au coin avant gauche de la rainure carrée.

C) Écrivez le programme.

D) Vérifiez le programme sur la fraiseuse à CN.

E) Usinez la pièce en centrant bien la rainure carrée sur la plaque de bois. Pour ce faire, il sera peut-être utile de tracer des lignes d'axes au centre de la plaque pour trouver l'origine outil.

--- CHAPITRE 7 ---

LES CODES DE PROGRAMMATION OPÉRATIONS DE TOURNAGE

Dans ce chapitre, nous allons étudier les codes de programmation pour les opérations de tournage. Il est important de noter les particularités de chacun d'eux puisque les MOCN n'acceptent pas les "à peu près". Nous parlerons surtout du contrôle "GENERAL NUMERIC 6 TB-2", puisque c'est le contrôle qui, par la force des choses, nous a été le plus accessible.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Programmer et faire fonctionner un tour à CN sans les compensations d'outil.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre, l'élève devrait être capable de...
  - programmer un tour à CN en utilisant des codes simples;
  - reconnaître tous les codes d'un tour;
  - corriger un programme simple;
  - usiner une pièce simple sur un tour à CN (type CNC).

7.1 INTRODUCTION AUX CODES DE TOURNAGE

Voici les codes utilisés par un tour à CN avec un contrôle "GENERAL NUMERIC 6TB-2". Ce tour se programme sur 2 axes, soit les axes X et Z. On ne peut donc pas y programmer un mouvement selon l'axe Y, un mouvement secondaire ou une rotation. Comme pour les fraiseuses, si on change de tour, il est très probable que quelques-uns des codes de programmation changent.

Certains codes utilisés par le tour à contrôle "GN 6TB-2" sont identiques aux codes utilisés par la fraiseuse décrite au chapitre 6. Lorsque ce sera le cas, au lieu de réexpliquer ces codes, nous allons plutôt vous référer aux codes du chapitre 6.

7.2 LE MOT 'O', LE NUMÉRO DU PROGRAMME

La lettre O suivie de 4 chiffres est un mot qui indique le numéro du programme. Le mot "O" indique que le programme pièce est écrit en code EIA. Si le programme est écrit en code ISO, le caractère ":" remplace le caractère "O".

Un opérateur peut donc emmagasiner dans la mémoire du DCN plus d'un programme pièce et les appeler séparément par leur numéro respectif. Le fait de peser successivement sur les touches O7149↓ place le programme pièce numéro 7149 en un certain endroit dans la mémoire du DCN, prêt à être exécuté.

7.3 LE MOT 'N', LE NUMÉRO DE BLOC

(voir le mot N, Chapitre 6)

La lettre N suivie d'un certain nombre de chiffres est un mot qui indique le numéro du bloc. Il n'est pas obligatoire que chaque bloc ait un numéro.

Pour sauver de l'espace dans la mémoire et accélérer la programmation, il peut être utile de numéroter seulement les blocs qui doivent obligatoirement être numérotés. Toutefois, cette façon de programmer rend la communication plus difficile entre le programmeur et une autre personne qui aurait à analyser le programme pièce.

7.4 LES MOTS 'U' ET 'W', LES COORDONNÉES INCRÉMENTALES

Avec la fraiseuse à CN, un code G90 ou G91 indiquait que la programmation était en coordonnées absolues ou incrémentales. Avec le tour à CN, maintenant, ce sont les adresses des mots qui indiquent le type de programmation.

Exemple: X2.0 veut dire un déplacement à la coordonnée X=2.0. (absolue)

U2.0 veut dire un déplacement de 2.0 unités dans la direction +X. (incrémentale)

Z-4.0 veut dire un déplacement à la coordonnée Z=-4.0. (absolue)

W-4.0 veut dire un déplacement de -4.0 unités dans la direction +Z. (incrémentale)

W-4.0 veut aussi dire un déplacement de +4.0 unités dans la direction -Z, ce qui veut dire la même chose. (incrémentale)

Donc, les adresses X et Z servent à la programmation en coordonnées absolues et les adresses U et W servent à la programmation en coordonnées incrémentales. Nous pouvons maintenant tracer la trajectoire de l'outil de la section de programme pièce suivante. (Le point de départ est X=0 et Z=0.)

```
:
X3.0 ; --> Déplacement au point P11
Z4.0 ; --> Déplacement au point P12
U2.0 ; --> Déplacement au point P13
W3.0 ; --> Déplacement au point P14
X2.0 ; --> Déplacement au point P15
Z2.0 ; --> Déplacement au point P16
U-1.0 ; --> Déplacement au point P17
W-2.0 ; --> Déplacement au point P18
:
```

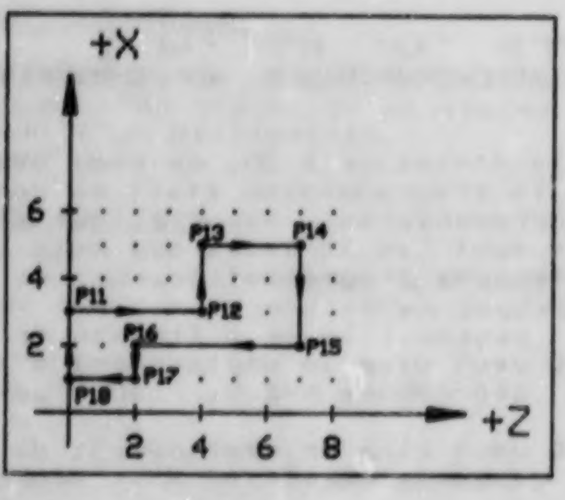


FIGURE 7.1

7.5 LE MOT 'G', LA FONCTION PRÉPARATOIRE

La lettre G suivie de 2 chiffres est un mot qui indique un mode de fonctionnement particulier, tout comme pour la fraiseuse.

7.5.1 Groupe 1 --> G20-G21

<u>G20 --- PROGRAMMATION EN POUCES</u>

(voir le code <u>G70</u>, Chapitre 6)

G21 --- PROGRAMMATION EN MILLIMÈTRES

(voir le code G71, Chapitre 6)

7.5.2 Groupe 2 --> G98-G99

G98 --- AVANCE PAR MINUTE

Avec ce code, la vitesse d'avance programmée est en po/min si l'on travaille en pouces ou en mm/min si l'on travaille en millimètres.

G99 --- AVANCE PAR TOUR

Avec ce code, la vitesse d'avance programmée est en po/tour si l'on travaille en pouces ou en mm/tour si l'on travaille en millimètres.

7.5.3 Groupe 3 --> G96-G97

G96 --- VITESSE PÉRIPHÉRIQUE CONSTANTE PAR RAPPORT À LA SURFACE

Avec l'usinage de pièces de gros diamètre, sur un tour, un problème se pose parfois. Lorsque l'outil travaille sur la surface de la pièce la plus éloignée du centre de la broche, la vitesse périphérique de l'outil par rapport à la pièce est souvent trop grande. Lorsque l'outil travaille sur la surface de la pièce la plus près du centre, la vitesse périphérique est souvent insuffisante.

Avec le code G96, on fixe la vitesse périphérique en (pi/min ou en m/min) et si l'outil s'éloigne de l'axe de rotation de la broche (déplacement positif selon l'axe +X), la vitesse de rotation de la broche diminuera automatiquement pour maintenir une vitesse périphérique constante. Lorsque l'outil s'approche de l'axe de rotation de la broche (déplacement négatif selon l'axe +X), la vitesse de rotation augmente.

<u>G97 --- ANNULATION DE LA VITESSE PÉRIPHÉRIQUE CONSTANTE</u>

Ce code annule le code G96. La vitesse de rotation de la broche est définie en RPM et ne dépend pas de la position de l'outil selon l'axe X.

7.5.4 Le code G50

<u>G50 --- REDÉFINITION DE L'ORIGINE DES AXES</u>

(voir le code <u>G92</u>, Chapitre 6)

<u>G50 --- SPÉCIFICATION DE LA VITESSE MAXIMALE DE ROTATION</u>

```
   :
G50 S2000 ;
   :
```

Le code G50 sert aussi à définir une vitesse maximale de rotation de la broche. Nous avons vu que la rotation de la broche peut varier en fonction de la position de l'outil selon l'axe X. Pendant l'exécution du programme pièce, à cause du bloc G50 S2000 ; la broche ne peut jamais tourner à plus de 2000 RPM lorsque le code G96 est actif.

N.B. Le bloc G50 S2000 ; ne limite la vitesse de rotation de la broche que lorsque le code G96 est actif. Lorsque c'est le code G97 qui est actif plutôt que le code G96, la vitesse de rotation de la broche n'est pas limitée par le bloc G50 S2000 ;.

7.5.5 Groupe 4 --> G00-G01-G02-G03

<u>G00 --- DÉPLACEMENT RAPIDE MODAL</u>

(voir le code G00, Chapitre 6)

Les déplacements rapides s'effectuent en point à point avec le contrôle "GN 6TB-2" (voir Section 3.6.1).

G01 --- INTERPOLATION LINÉAIRE

(voir le code G01, Chapitre 6)

ATTENTION! tout comme pour le fraisage, il est plus facile de prévenir les collisions en utilisant un code G01 combiné avec une avance programmée et rapide qu'avec un code G00. C'est pourquoi dans ce document on ne retrouvera plus de code G00 à l'intérieur de programmes pièces d'opérations de tournage. Le code G00 sera remplacé par un code G01 suivi d'un mot F à valeur élevée. Cette façon de programmer est plus sécuritaire. Notez qu'un mot F1.0 cause une avance rapide si cette avance est exprimée en po/tour (code G20 et G99).

Certaines MOCN offrent la possibilité de programmer les déplacements selon l'axe X en fonction du diamètre de la pièce usinée plutôt qu'en fonction du rayon. Ceci veut dire que pour déplacer l'outil à 1.5 pouce du centre de la pièce, il faut programmer un déplacement à X=3.0. Le contrôle "GN 6TB-2" permet la programmation en rayon et en diamètre, mais nous ne traiterons que de la programmation en rayon.

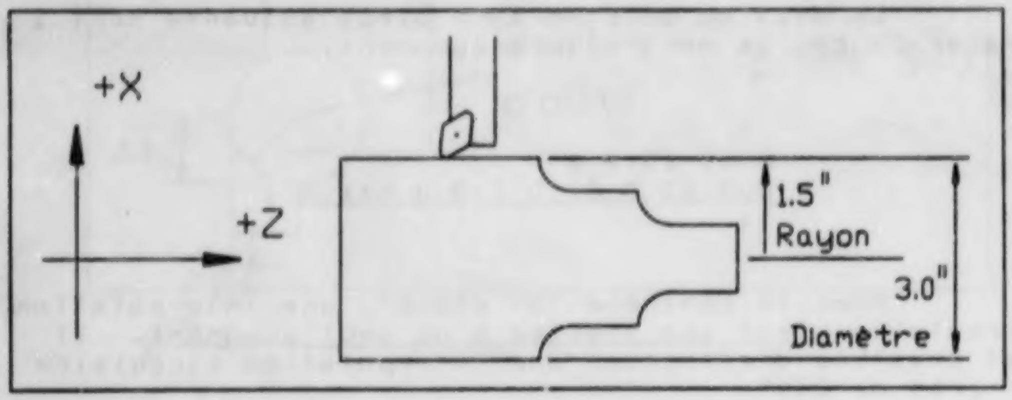


FIGURE 7.2

G02 --- INTERPOLATION CIRCULAIRE, SENS HORAIRE

(voir le code G02, Chapitre 6)

G03 --- INTERPOLATION CIRCULAIRE, SENS ANTIHORAIRE

(voir le code G03, Chapitre 6)

Avec le contrôle "GN 6TB-2", les mots I et K peuvent prendre une valeur négative. Le mot I-3.0 signifie donc que le centre du cercle est situé à -3.0 unités du point de départ selon l'axe X. Le mot K1.0 signifie que le centre du cercle est situé à +1.0 unité du point de départ selon l'axe Z.

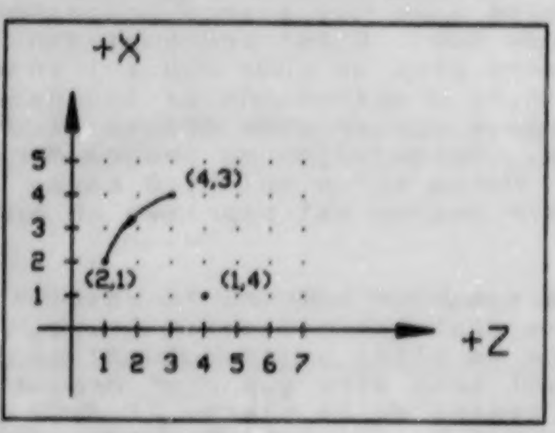


FIGURE 7.3

La section de programme pièce suivante sert à tracer la courbe montrée précédemment.

```
:
X4.0 Z3.0 ;
G03 X2.0 Z1.0 I-3.0 K+1.0 ;
:
```

Avec le contrôle "GN 6TB-2", une interpolation circulaire n'est pas limitée à un seul quadrant. Il est possible d'effectuer une interpolation circulaire de près de 360°.

Il est aussi possible d'utiliser les codes G02 et G03 avec une adresse R (R pour rayon) plutôt que les adresses I et K. Il suffit alors de spécifier le sens de rotation (horaire ou antihoraire), le point d'arrivée et le rayon de courbure. La section de programme qui sert à tracer la courbe montrée à la figure 7.3 pourrait être la suivante.

```
;
X4.0 Z3.0 ;
G03 X2.0 Z1.0 R3.1623 ;
;
```

On peut donc établir la relation suivante entre I, K et R.

$$R^2 = I^2 + K^2$$

$$3.1623^2 = (-3.0)^2 + (1.0)^2$$

$$10.0 = 9.0 + 1.0$$

Notez que, avec la programmation du mot R, il est possible d'effectuer une interpolation circulaire de 0° à 180°.

7.5.6 Groupe 5 --> G40-G41-G42

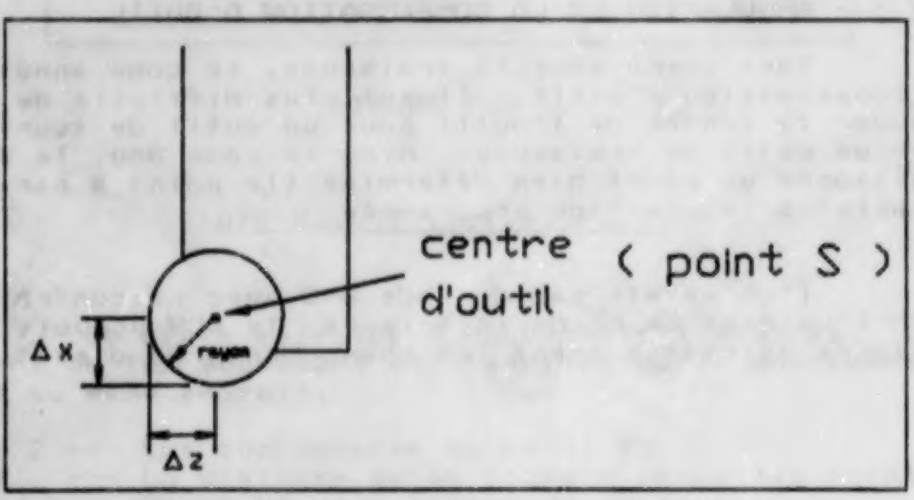


FIGURE 7.4

Le rayon de l'outil peut être pris en considération pour la compensation d'outil par rapport au point S par exemple (voir Section 9.3).

G41 --- COMPENSATION D'OUTIL À GAUCHE

(voir le code G41, Chapitre 6)

Le DCN, s'il connaît le rayon de courbure de l'extrémité de l'outil peut lui-même calculer la compensation de l'outil. Avec G41, le centre de l'outil (point S) se déplace à la gauche des cotes programmées.

G42 --- COMPENSATION D'OUTIL À DROITE

(voir le code G42, Chapitre 6)

Le centre de l'outil (point S) se déplace à la droite des cotes programmées. Il faut quelque part, dans le tableau des compensations d'outil, inscrire le rayon de courbure de l'extrémité de l'outil.

G40 --- ANNULATION DE LA COMPENSATION D'OUTIL

Tout comme pour la fraiseuse, ce code annule la compensation d'outil. Il est plus difficile de trouver le centre de l'outil pour un outil de tour que pour un outil de fraiseuse. Avec le code G40, le DCN positionne un point bien déterminé (le point S par exemple) à la position programmée.

Il n'existe pas de code G43 avec ce contrôle. Pour l'usinage de coins intérieurs, le DCN prévoit toujours automatiquement les changements de direction.

7.5.7 Groupe 6 --> G90-G92-G94

G90 --- CYCLE DE CHARIOTAGE

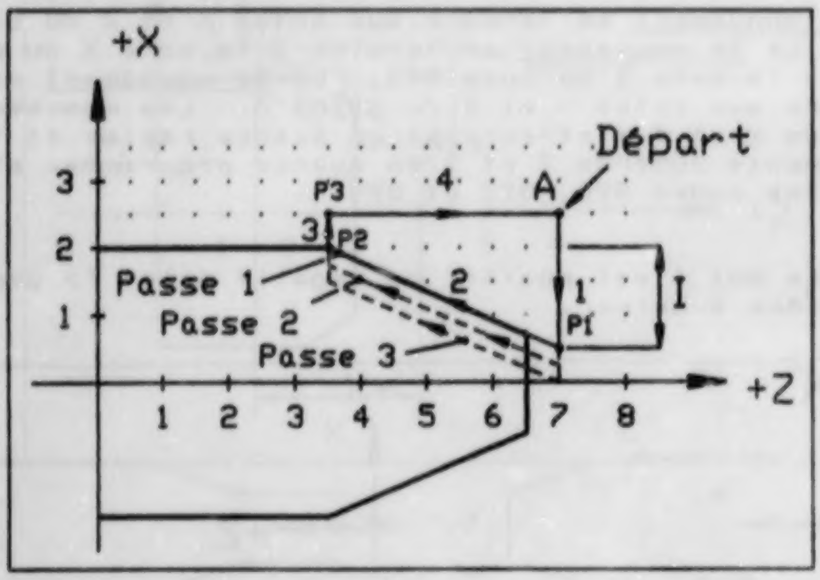


FIGURE 7.5

```
;
G90 X....Z....I....F....;
;
```

Ce cycle effectue 4 mouvements linéaires. Le départ du 1er mouvement et l'arrivée du 4e mouvement sont au même endroit.

X et Z --- Les coordonnées du point P2.
I --- La distance selon l'axe X entre les points P1 et P2 pour l'usinage conique.

```
;
G01 X2.5 Z7.0 ; ---------- Positionnement au point A
G90 X2.0 Z3.5 I-1.5 ; ---- Passe 1
X1.75 ; ------------------ Passe 2
X1.50 ; ------------------ Passe 3
;
```

La section de programme précédente permet d'usiner la pièce par 3 passes successives, en enlevant 0.25 pouce de matière à chaque passe. Chaque passe comprend 4 mouvements. Le 1er mouvement commence au point de départ A et se termine à la cote X+I du code G90 et à la cote Z du point A. Dans ce cas-ci, X=2.0 et I=-1.5 donc X+I = 2.0 + (-1.5) = 0.5. Le 2e mouvement se termine aux cotes X et Z du code G90. Le 3e mouvement se termine à la cote X du point A et à la cote Z du code G90. Le 4e mouvement se termine aux cotes X et Z du point A. Les mouvements numéros 1 et 4 s'effectuent en avance rapide et les mouvements numéros 2 et 3 en avance programmée et ce pour les codes G90, G92 et G94.

N.B. Le mot I est positif ou négatif selon le genre de cône à usiner.

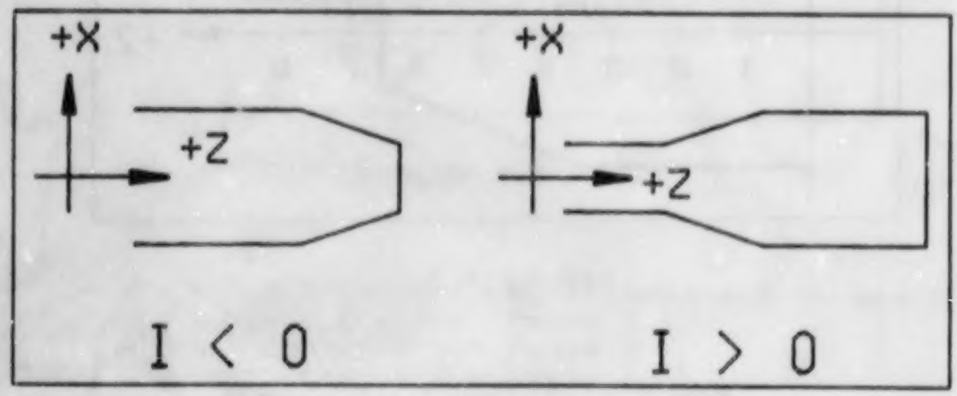


FIGURE 7.6

G92 --- CYCLE DE FILETAGE (UNE PASSE)

G92 X....Z....I....(F)....
ou E

Ce code ressemble au code G90 sauf que la broche est synchronisée avec l'avance de l'outil dans le but de tailler un filet. Avec ce code, peu importe le code G98 ou G99 utilisé, les mots E ou F sont toujours en avance par tour plutôt qu'en avance par minute. Nous étudierons plus loin les mots E et F. Pour l'instant, il est important de savoir qu'ils définissent la vitesse d'avance et qu'on a le choix d'employer l'un ou l'autre des mots E et F.

G94 --- CYCLE DE SURFAÇAGE

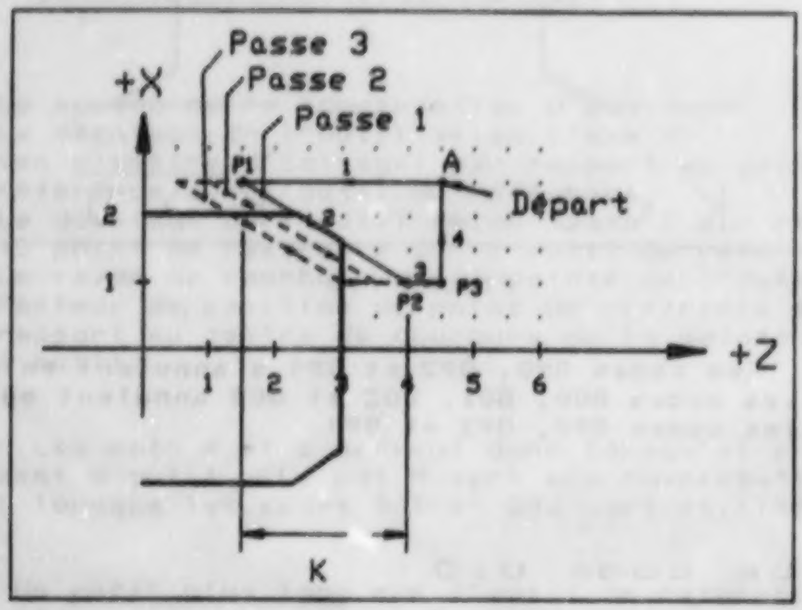


FIGURE 7.7

```
;
G01 X2.5 Z4.5 ; ---------- Positionnement au point A
G94 X1.0 Z4.0 K-2.5 ; ---- Passe 1
Z3.5 ; ------------------- Passe 2
Z3.0 ; ------------------- Passe 3
;
```

Ce code ressemble au code G90 sauf que les 4 mouvements s'effectuent dans l'ordre inverse du code G90 pour permettre du surfaçage.

X et Z --- Les coordonnées du point P2.
K --- La distance en Z entre les points P1 et P2 pour l'usinage conique.

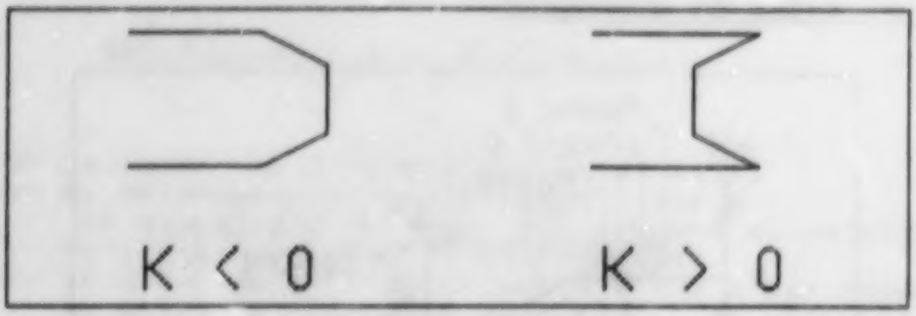


FIGURE 7.8

Les codes G90, G92 et G94 s'annulent entre eux. Les codes G00, G01, G02 et G03 annulent eux aussi les codes G90, G92 et G94.

7.5.8 Le code G10

G10 --- TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Le programmeur peut entrer, à même le programme pièce, les paramètres des outils servant à la compensation d'outil.

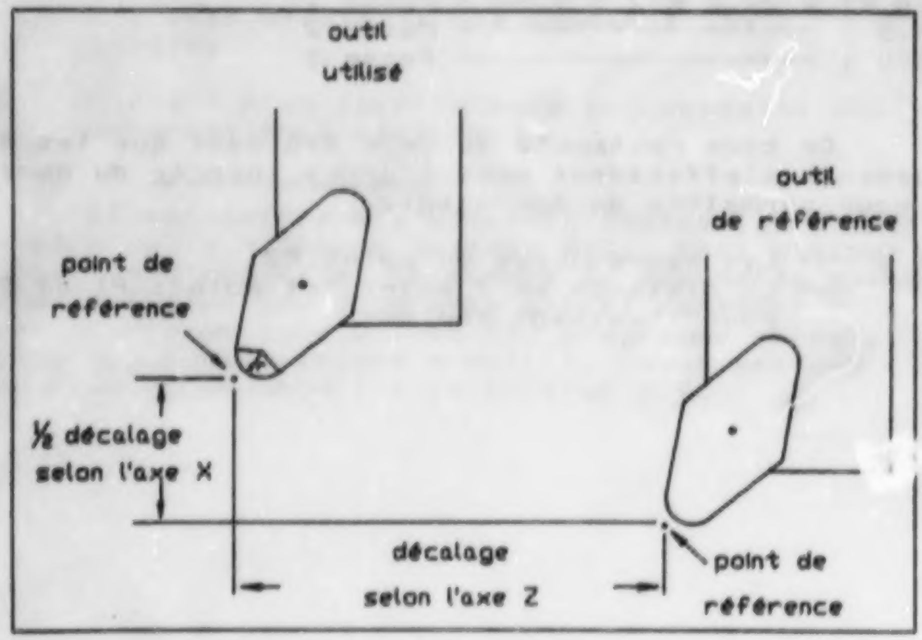


FIGURE 7.9

G10 P....X....Z....R....Q....

P --- Le numéro de la compensation d'outil.
X --- Le décalage de l'outil selon l'axe X (en diamètre d'usinage) par rapport au point de référence sur l'outil de référence.
Z --- Le décalage de l'outil selon l'axe Z par rapport au point de référence sur l'outil de référence.
R --- Le rayon de courbure de la pointe de l'outil.
Q --- Facteur de position du point de référence par rapport au centre de courbure de la pointe de l'outil.

Les mots X et Z servent donc lorsqu'il y a un changement d'outil. Le mot R sert aux compensations d'outil lorsque les codes G41 et G42 sont utilisés.

- Un outil plus long que l'outil de référence nécessite une compensation X positive.

- Un outil plus court que l'outil de référence nécessite une compensation X négative.

- Un outil plus près du mandrin que l'outil de référence nécessite une compensation Z positive.

- Un outil plus loin du mandrin nécessite une compensation Z négative.

Il est préférable d'entrer toutes les compensations d'outil à l'aide du code G10. Ceci diminue la possibilité d'erreur et le nombre de documents puisque un seul document (le programme pièce) contient 2 séries d'informations utiles (le programme pièce et le tableau des compensations d'outil). Nous verrons le code G10 plus en détail à la section 9.4.

7.5.9 Le code G32

G32 --- FILETAGE DROIT OU CONIQUE

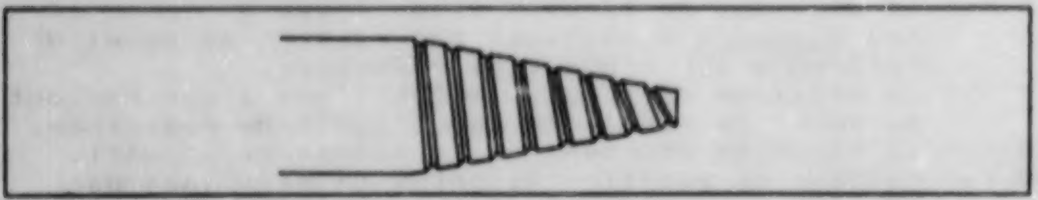


FIGURE 7.10

```
;
G01 X1.0 Z5.0 ;
G32 X3.0 Z1.0 F5.0 ;
G01 X4.0 ;
Z5.0 ;
X0.8 ;
G32 X2.8 Z1.0 ;
G01 X3.8 ;
;
```

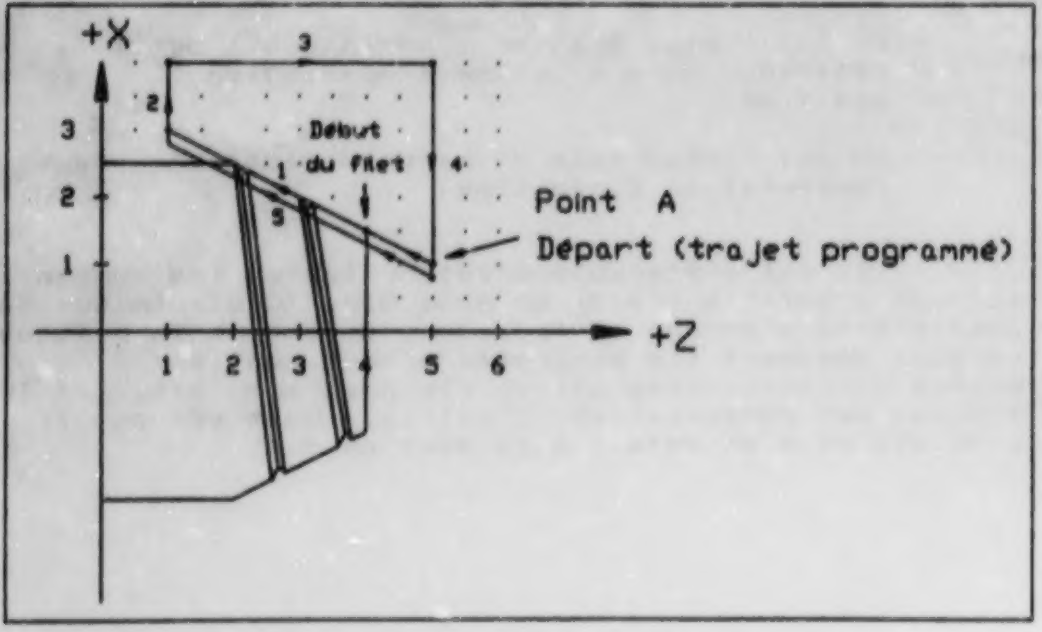


FIGURE 7.11

Pour tailler un filet, il faut que la broche soit synchronisée avec le déplacement de l'outil. Le code G32 assure une telle synchronisation. Le bloc contenant le code G32 ne provoque qu'un seul mouvement linéaire de l'outil, il ne s'agit pas d'un cycle de filetage. Pour refaire une 2e passe, il faut relever l'outil, le ramener près du point A (voir Figure 7.11) et reprogrammer un autre code G32, comme dans le programme pièce précédent.

Au lieu d'employer le mot F pour définir l'avance, on peut employer le mot E qui a la même signification. Avec le code G32, peu importe le code G98 ou G99 utilisé, les mots E ou F sont en avance par tour plutôt qu'en avance par minute. Le code G32 est non modal.

N.B. Avec tous les codes qui permettent le filetage, soit les codes G32, G76 et G92, il est conseillé de programmer le début du filet un peu avant le début de la pièce et de terminer le filet un peu après la fin de la pièce. Remarquez à la figure 7.11 que le point programmé A est situé à la droite et que le mouvement no 2 s'effectue à une cote Z à la gauche de la pièce à fileter.

7.5.10 Groupe 7 --- G70-G71-G72-G73 G74-G75-G76

<u>G71 --- CYCLE D'ÉBAUCHE EN CHARIOTAGE</u>

<u>G71 P....Q....U....W....D....F....S....T....;</u>

Ce cycle permet d'ébaucher une pièce de la façon montrée à la figure 7.12. La forme de la pièce après usinage est celle déterminée par une série de blocs de programmation. Les numéros du premier et du dernier de ces blocs sont inscrits au mot P et au mot Q respectivement. Il reste à la pièce une surépaisseur pour la finition.

P et Q --- Les numéros de bloc du début et de la fin du trajet pour une passe de finition, soit du point "début" au point "fin" sur la figure 7.12.

U et W --- La surépaisseur laissée pour la passe de finition selon les axes X et Z.

D --- La profondeur de coupe par passe selon l'axe X exprimée en 1/10000 de pouce ou en 1/1000 de millimètre.

F --- La vitesse d'avance.

S --- La vitesse de rotation de la broche.

T --- Le numéro de l'outil.

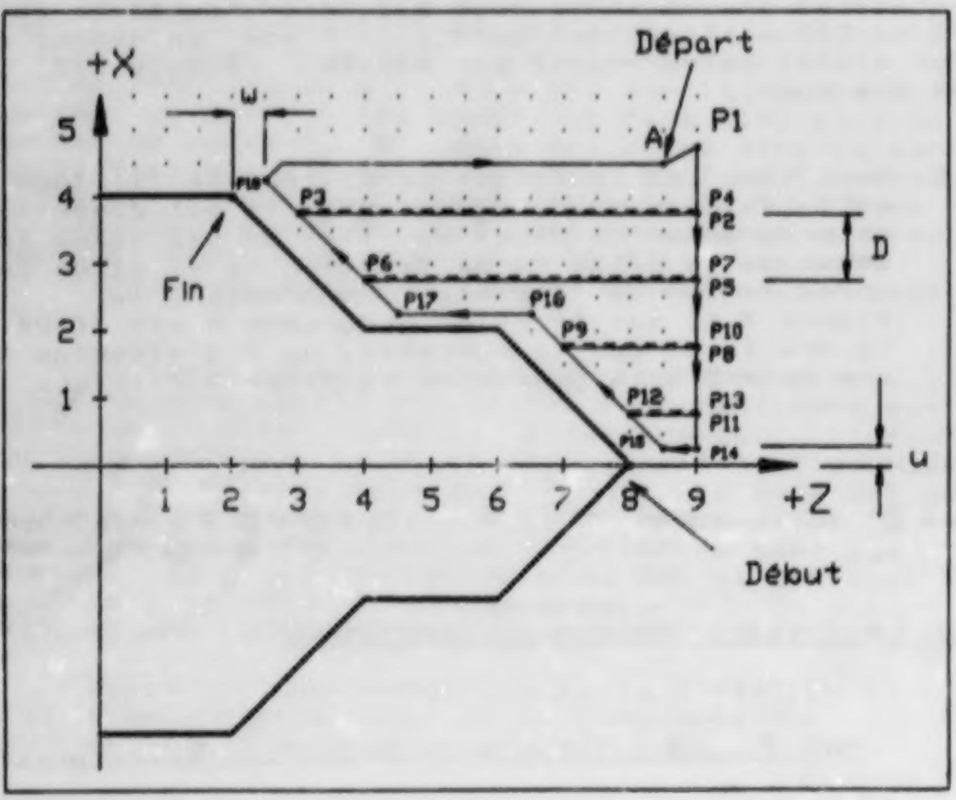


FIGURE 7.12

```
   ;
G01 X4.5 Z8.5 F15.0 ;
G71 P200 Q240 U0.25 W0.5 D10000 T0200 ;
N200 G01 X0.0 F10.0 T0100 ;
N210 Z8.0 ;
N220 X2.0 Z6.0 ;
N230 Z4.0 ;
N240 X5.0 Z2.0 ;
   ;
```

La section de programme pièce précédente permet l'usinage selon le trajet montré à la figure 7.12. On remarque que la valeur du mot D est en 1/10000 de pouce. Le cycle G71 est exécuté avec l'outil no 2 et une vitesse d'avance de 15 po/min.

N.B. La valeur D10000 est irréaliste puisque l'outil usine par passe de 1 pouce. Mais si la valeur D10000 est utilisée, c'est pour une meilleure compréhension des figures.

Après le cycle, le programme exécute le bloc suivant le bloc inscrit au mot Q; donc, il exécute le bloc suivant N240 X5.0 Z2.0. Pour comprendre le trajet de l'outil, on a qu'à suivre sur la figure 7.12 en partant du point A les points de P1 à P18, puis de retourner au point A. Si, dans les blocs appelés par les mots P et Q, il y a une fonction S, T ou F, cette fonction est ignorée. Ce sont les mots S, T et F du bloc contenant le mot G71 qui sont considérés ou bien les mots S, T et F lus avant le mot G71. Les mots F10.0 et T0100 ne sont pas pris en considération dans ce cycle.

Pour que le DCN accepte le programme pièce, il faut que le bloc appelé par le mot P ne contienne pas de déplacement selon l'axe Z. C'est pourquoi, il faut 2 blocs pour définir le point (0,8), soit le bloc N200 pour X=0.0 et le bloc N210 pour Z=8.0. Le code G71 ne peut pas fonctionner si les blocs du début et de la fin du trajet pour la passe de finition ne sont pas numérotés. Ici, les numéros de bloc 200 et 240 sont essentiels à la bonne marche du programme. On aurait bien pu ne pas numéroter les blocs 210, 220 et 230.

Seuls les déplacements dans la direction +Z sont en avance rapide, sauf si le programmeur a inscrit un code G00 dans les blocs P à Q.

G72 --- CYCLE D'ÉBAUCHE EN SURFAÇAGE

:
G72 P....Q....U....W....D....F....S....T....;
:

Ce cycle est semblable au cycle G71, sauf qu'il est employé pour du surfaçage. Les mots ont ici la même signification que pour le code G71. Le trajet de la passe de finition va du point "début" au point "fin" et le mot D signifie la profondeur de coupe par passe selon l'axe Z.

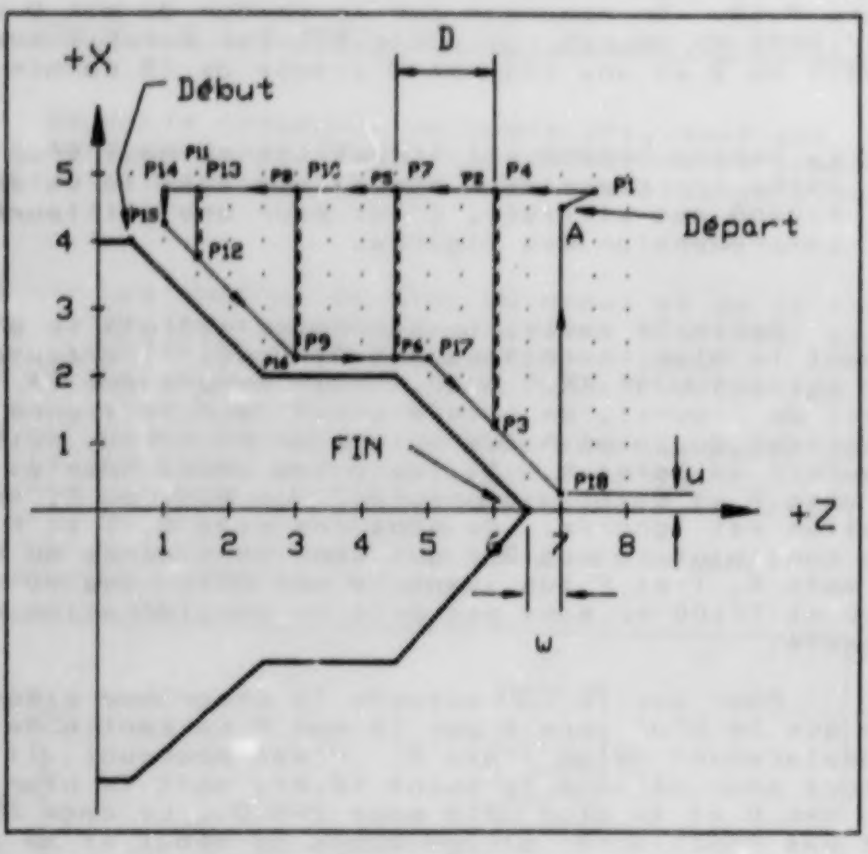


FIGURE 7.13

```
   :
G01 X4.5 Z7.0 ;
G72 P200 Q240 U0.25 W0.5 D15000 F15.0 ;
N200 G01 Z0.5 F10.0 ;
N210 X4.0 ;
N220 X2.0 Z2.5 ;
N230 Z4.5 ;
N240 X0.0 Z6.5 ;
   :
```

La section de programme pièce précédente sert à usiner selon le trajet montré à la figure 7.13. Pour que le DCN accepte le programme pièce, il faut que le bloc appelé par le mot P ne contienne pas de déplacement selon l'axe X. Seuls les déplacements dans la direction +X sont en avance rapide, sauf si le programmeur a inscrit un code G00 dans les blocs P à Q.

G73 --- CYCLE DE PROFILAGE

G73 P...Q...I...K...U...W...D...F...S...T...;

Ce cycle ressemble au cycle G71, sauf que l'outil suit continuellement le contour de la pièce, mais en y laissant une surépaisseur de plus en plus petite.

P et Q --- Les numéros de bloc du début et de la fin du trajet pour une passe de finition, soit du point "début" au point "fin".
I et K --- La profondeur de coupe totale selon les axes X et Z.
U et W --- La surépaisseur laissée pour la passe de finition selon les axes X et Z.
D --- Le nombre total de passes dans le cycle.
F --- La vitesse d'avance.
S --- La vitesse de rotation de la broche.
T --- Le numéro de l'outil.

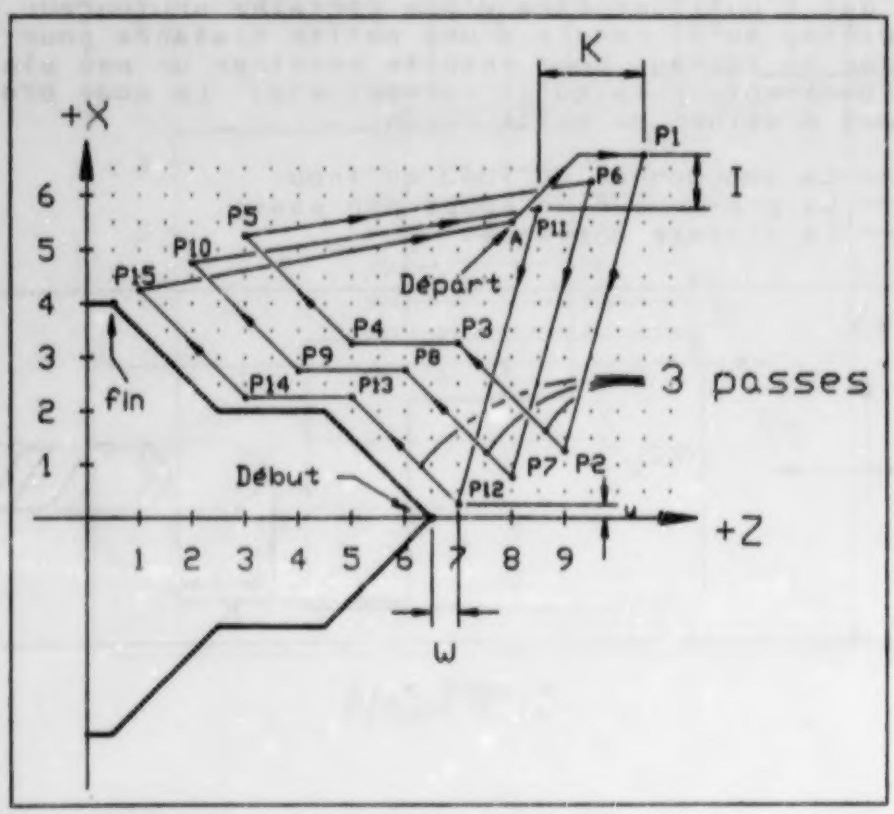


FIGURE 7.14

```
       :
     G01 X5.5 Z8.0 F15.0 ;
     G73 P200 Q230 I1.0 K2.0 U0.25 W0.5 D3 ;
     N200 G01 X0.0 Z6.5 F10.0 ;
     N210 X2.0 Z4.5 ;
     N220 Z2.5 ;
     N230 X4.0 Z0.5 ;
       :
```

La section de programme pièce précédente sert à usiner selon le trajet montré à la figure 7.14.

G74 --- PERÇAGE PAR BECQUETAGE SELON L'AXE Z

```
  :
G74 Z....K....F....;
  :
```

Pour percer un trou, il est parfois souhaitable que l'outil pénètre d'une certaine profondeur dans la pièce, qu'il recule d'une petite distance pour casser le copeau, pour ensuite pénétrer un peu plus profondément, puis qu'il recule, etc. Le code G74 permet d'usiner de cette façon.

Z --- La coordonnée du fond du trou.
K --- La profondeur de coupe par passe.
F --- La vitesse d'avance.

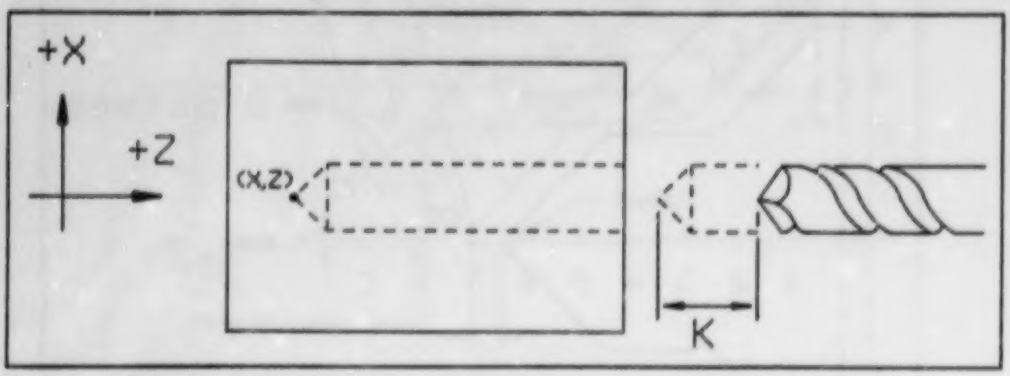


FIGURE 7.15

Le cycle G74 offre d'autres possibilités.

G74 X....Z....I....K....F....D....

- X et Z --- Les coordonnées du point P13.
- I --- La profondeur de coupe selon l'axe X entre chaque passe.
- K --- La distance parcourue selon l'axe Z entre chaque bris de copeau.
- F --- La vitesse d'avance.
- D --- La distance de dégagement selon l'axe X pour chaque passe exprimée en 1/10000 de pouce ou en 1/1000 de millimètre.

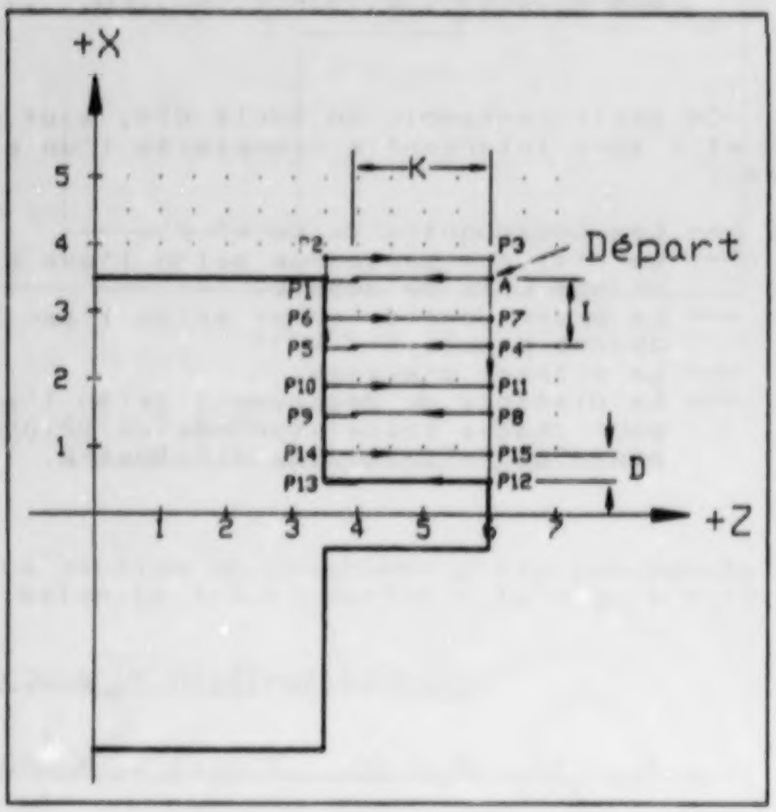


FIGURE 7.16

```
    :
    G01 X3.5 Z6.0 ;
    G74 X0.5 Z3.5 I1.0 K2.0 D4000 ;
    :
```

La section de programme pièce précédente sert à usiner selon le trajet montré à la figure 7.16. À remarquer que le mot D se programme en 1/10000 de pouce. Les déplacements dans les directions +X et -Z sont en avance programmée et les déplacements dans les directions -X et +Z sont en avance rapide.

G75 --- RAINURAGE SELON L'AXE X

```
    :
    G75 X...Z...I...K...F...D...;
    :
```

Ce cycle ressemble au cycle G74, sauf que les axes X et Z sont intervertis (remplacés l'un par l'autre).

X et Z --- Les coordonnées du point P9.
I --- La distance parcourue selon l'axe X entre chaque bris de copeau.
K --- La profondeur de coupe selon l'axe Z entre chaque passe.
F --- La vitesse d'avance.
D --- La distance de dégagement selon l'axe Z pour chaque passe exprimée en 1/10000 de pouce ou en 1/1000 de millimètre.

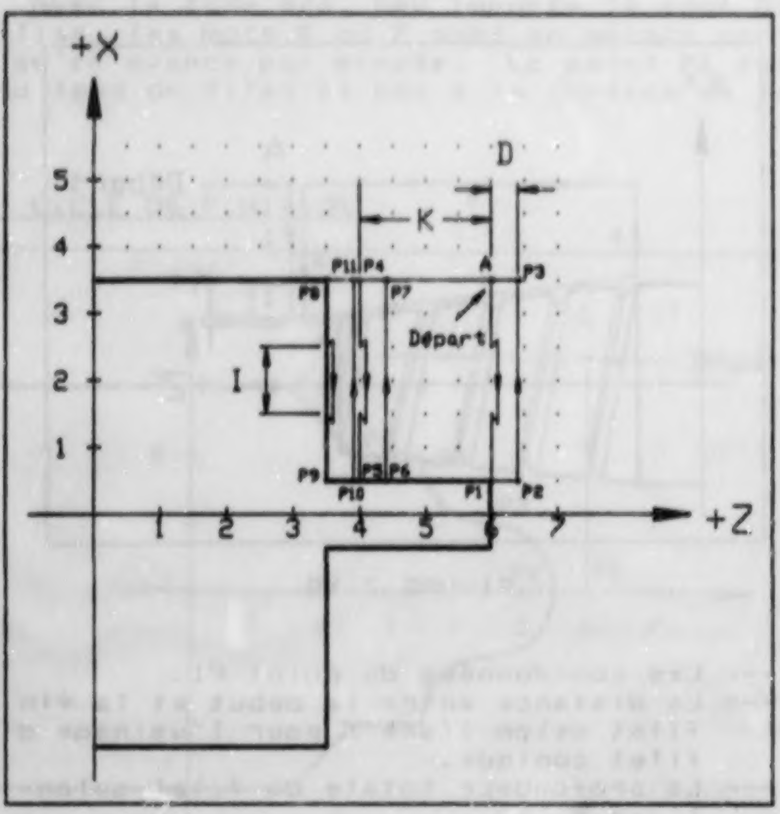


FIGURE 7.17

```
G01 X3.5 Z6.0 ;
G75 X0.5 Z3.5 I1.0 K2.0 D4000 ;
```

La section de programme pièce précédente sert à usiner selon le trajet montré à la figure 7.17.

G76 --- CYCLE DE FILETAGE COMPLET

```
G76 X....Z....I....K....D...(F)...A....;
                              ou E
```

Ce cycle permet de tailler un filet avec le nombre de passes nécessaires. Le DCN calcule lui-même la profondeur de coupe variable entre chaque passe et il synchronise la vitesse de rotation de la broche avec celle de l'avance de l'outil.

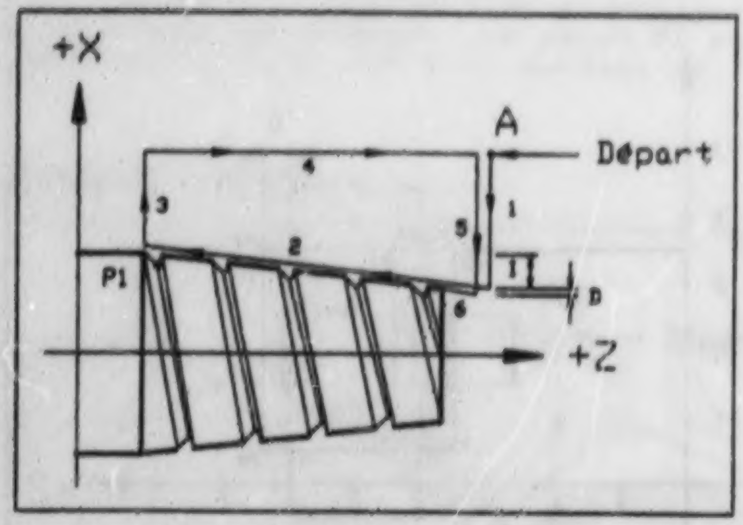


FIGURE 7.18

X et Z --- Les coordonnées du point P1.
I --- La distance entre le début et la fin du filet selon l'axe X pour l'usinage d'un filet conique.
K --- La profondeur totale du filet selon l'axe X.
D --- La profondeur de coupe de la 1re passe.
F ou E --- L'avance par tour, c'est-à-dire le pas du filet.
A --- L'angle de la pointe de l'outil (voir Figure 7.19).

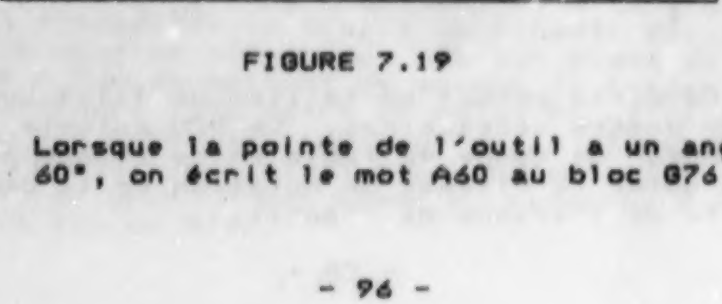


FIGURE 7.19

Exemple: Lorsque la pointe de l'outil a un angle de 60°, on écrit le mot A60 au bloc G76.

Avec le code G76, peu importe le code G98 ou G99 utilisé, les mots E ou F sont en avance par tour plutôt qu'en avance par minute. Le point P1 est situé au fond du filet et non à la surface de la pièce.

G70 --- CYCLE DE FINITION

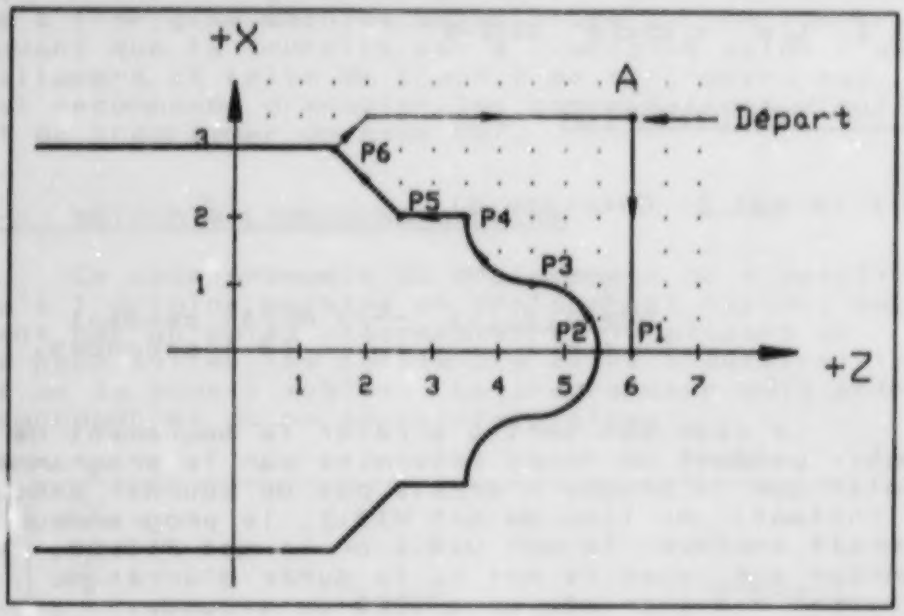


FIGURE 7.20

```
;
N120 G01 X0.0 F10.0 ;
Z5.5 ;
G03 X1.0 Z4.5 K-1.0 ;
G02 X2.0 Z3.5 I1.0 ;
G01 Z2.5 ;
N360 X3.0 Z1.5 ;
;
G01 X3.5 Z6.0 ;
G70 P120 Q360 F15.0 ;
;
```

La section de programme montrée à la figure 7.20 permet d'exécuter le trajet de l'outil défini par les blocs de numéros 120 à 360. Si les blocs de numéros 120 à 360 permettent de suivre le trajet montré à la figure 7.20 entre le point P1 et le point P6, le bloc G70 provoque l'usinage de la pièce suivant ce trajet. L'outil qui était à un endroit donné avant le code G70, au point A par exemple, retourne à cet endroit à la fin du bloc.

ATTENTION! les compensations d'outil automatiques G41 et G42 ne fonctionnent pas avec les cycles G71, G72 et G73, sauf si tous les déplacements sont parallèles aux axes. Tous les codes de groupe 7 sont non modaux.

7.5.11 Le code G04

G04 --- TEMPORISATION

(voir le mot D, Chapitre 6)

```
          :
     G04 X13.1 ;   ---> Arrêt pendant
          :                13.1 secondes.
```

Le code G04 sert à arrêter le mouvement de l'outil pendant un temps déterminé par le programmeur. À noter que la broche n'arrête pas de tourner pendant cet instant. Au lieu du mot X13.1, le programmeur pourrait employer le mot U13.1 ou le mot P13100. On remarque que, avec le mot P, la durée d'arrêt du mouvement est exprimée en 1/1000 de seconde.

7.5.12 Groupe 8 --> G27-G28-G29

G27 --- VÉRIFICATION DE L'ORIGINE MACHINE

```
     :
G27 X(U)....Z(W)....;
     :
```

Avec le code G27, l'outil se déplace à la position demandée par les mots X et Z en avance rapide. Par la suite, si la position correspond à l'origine machine, 2 voyants s'allument sur le panneau de contrôle du DCN, un pour chaque axe. Si une ou les 2 cotes ne correspondent pas à l'origine machine, le signal d'alarme lumineux informe l'opérateur de l'irrégularité et l'exécution du programme est arrêtée.

```
      :
G50 X0.0 Z0.0 ;   (Op = Om dans ce cas-ci)
G01 X-2.0 Z-3.0 F10.0 ;
G27 U+2.0 W+2.99 ;
      :
```

Après cette section de programme pièce, le DCN indiquera une irrégularité puisque l'outil n'est pas situé à l'origine machine selon l'axe Z. La lumière indiquant que la tourelle est à l'origine selon l'axe X s'allumera et celle de l'axe Z ne s'allumera pas. Il est recommandé d'annuler les compensations d'outil avant de programmer un code G27.

G28 --- RETOUR À L'ORIGINE MACHINE

Ce code provoque un déplacement de l'outil jusqu'à l'origine machine en déplacement rapide, en passant par un point intermédiaire, la plupart du temps pour éviter les collisions entre l'outil et la pièce ou la poupée mobile. Le programmeur doit entrer les coordonnées du point intermédiaire.

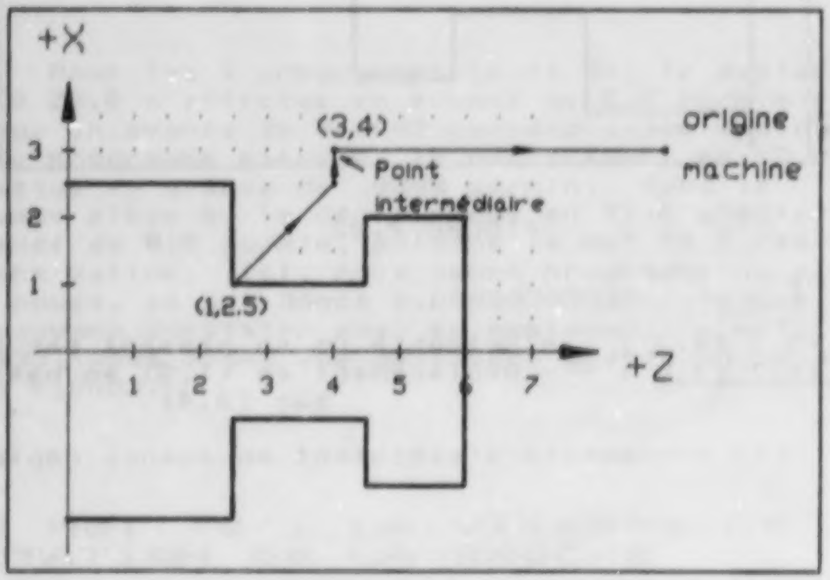


FIGURE 7.21

```
      :
G01 X1.0 Z2.5 ;
G28 X3.0 Z4.0 ;
      :
```

G29 --- DÉPLACEMENT EN PASSANT PAR LE POINT INTERMÉDIAIRE

L'outil passe par le point intermédiaire défini au bloc contenant le code G28 pour se positionner au point défini au bloc contenant le code G29. Généralement, le code G29 est inscrit au bloc suivant un code G28. Le déplacement commence à l'origine machine, passe par le point intermédiaire et se termine au point défini au bloc contenant le mot G29.

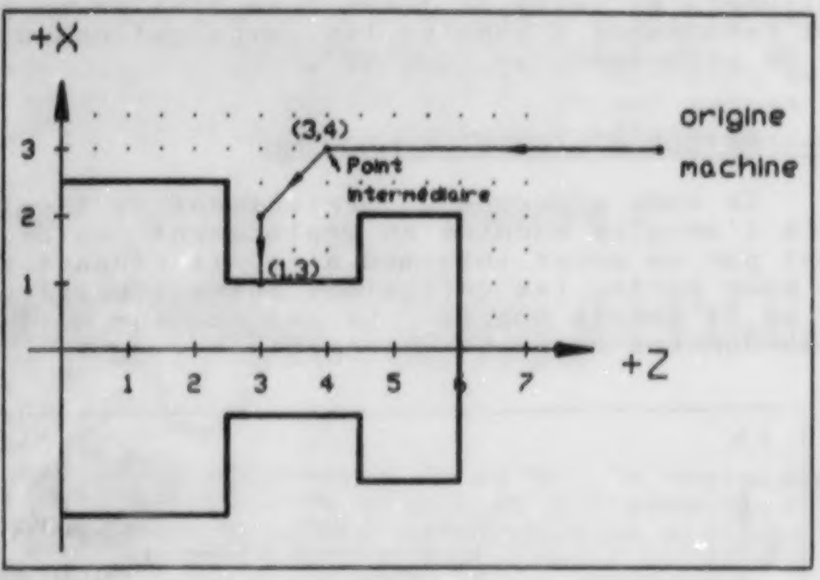


FIGURE 7.22

```
:
G28 X3.0 Z4.0 ; --- Retour à Om en passant par (3,4)
G29 X1.0 Z3.0 ; --- Déplacement en (1,3) en passant
:                        par (3,4)
```

Les mouvements s'exécutent en avance rapide.

7.6 LES MOTS 'E' ET 'F', LA VITESSE D'AVANCE

(voir le mot F, Chapitre 6)

Le contrôle "GN 6TB-2" accepte les valeurs suivantes pour le mot F: po/min, mm/min, po/révolution et mm/révolution. Les mots E et F ont la même utilité, sauf qu'en employant un mot E n'annule pas le mot F utilisé précédemment dans un autre bloc. De plus et surtout, le mot E se programme avec plus de chiffres significatifs que le mot F, ce qui permet d'usiner un filet avec une plus grande précision.

PROGRAMME A	PROGRAMME B
:	:
G01 X0.0 Z5.0 F8.0 ;	G01 X0.0 Z5.0 F8.0 ;
G32 X2.0 Z0.0 F.0083 ;	G32 X2.0 Z0.0 E.008333 ;
G01 X3.0 ;	G01 X3.0 ;
:	:

Pour les 2 programmes (A et B), le déplacement en X0.0 Z5.0 s'effectue en avance de 8.0 po/min et le filetage en avance de 0.0083 po/révolution environ. Avec le programme pièce A, le déplacement en X3.0 s'effectue en avance de .0083 po/min. Avec le programme pièce B, le déplacement en X3.0 s'effectue en avance de 8.0 po/min, puisque le mot F8.0 reste toujours valide. Ici, nous avons programmé un pas de 1/120 pouce, ce qui donne 0.00833333333... pouce. Nous pouvons constater que, en employant le mot E.008333, nous avons une meilleure précision qu'avec un mot F.0083.

7.7 LE MOT 'S', LA VITESSE DE ROTATION DE LA BROCHE

(voir le mot S, Chapitre 6)

Le contrôle "GN 6TB-2" accepte les valeurs suivantes pour le mot S: révolution/min, pi/min et m/min.

7.8 LE MOT 'T', LA SÉLECTION DE L'OUTIL ET DE LA COMPENSATION D'OUTIL

La lettre T suivie de 4 chiffres est un mot qui indique le numéro de l'outil et le numéro de la compensation d'outil utilisée. Le mot T0205 signifie que l'on utilise l'outil no 2 avec la compensation d'outil no 5. Le mot T0100 signifie que l'on utilise l'outil no 1 et aucune compensation d'outil.

7.9 LE MOT 'M', LA FONCTION AUXILIAIRE

La lettre M suivie de 2 chiffres est un mot qui indique au DCN divers fonctionnements.

7.9.1 Groupe 1 M00-M02-M30

<u>M00 --- ARRÊT DU PROGRAMME</u>

(voir le code M00, Chapitre 6)

<u>M02 --- FIN DU PROGRAMME</u>

Ce code ressemble au code M30, sauf qu'il ne permet pas le rebobinage de la bande.

EXEMPLE A		EXEMPLE B
G21	<--- Début du programme --->	G21
:		:
T0100 ;		T0100 ;
M30 ;	<--- Fin du programme --->	M02 ;
G20 G98 ;	<--- Début du 2e programme --->	G20 G98 ;
:		:

Dans l'exemple A, après avoir lu le code M30, le DCN arrête l'exécution du programme et le rebobine. En appuyant sur la touche "START", le programme s'exécute à partir du début du 1er programme soit au bloc G21.

Dans l'exemple B, après avoir lu le code M02, le DCN arrête l'exécution du programme mais ne le rebobine pas. En appuyant sur la touche "START", le programme s'exécute à partir du bloc suivant le code M02, c'est-à-dire au début du 2e programme, soit au bloc G20 G98.

M30 --- FIN DU PROGRAMME PIÈCE ET REBOBINAGE DE LA BANDE PERFORÉE

(voir le code M30, Chapitre 6)

7.9.2 Groupe 2 M03-M04-M05

(voir les codes M03-M04-M05, Chapitre 6)

N.B. Pour reconnaître si une rotation est horaire ou antihoraire, il faut regarder dans la direction positive de l'axe Z.

7.9.3 Groupe 3 M07-M08-M09

(voir les codes M07-M08-M09, Chapitre 6)

7.9.4 Groupe 4 M98-M99

M98 --- APPEL DU SOUS-PROGRAMME

Ce code sert à appeler un sous-programme qui se trouve lui aussi dans la mémoire du DCN.

M99 --- FIN DU SOUS-PROGRAMME

Ce code sert à identifier la fin du sous-programme et cause un retour au programme principal.

PROGRAMME PRINCIPAL	SOUS-PROGRAMME
O1721 ;	O7100 ;
:	:
M98 P7100 L5 ;	M99 ;
:	
M30 ;	

Le bloc M98 P7100 L5 appelle le sous-programme no 7100 et l'exécute 5 fois de suite. Le bloc O7100 est le bloc d'identification du sous-programme. À remarquer que si le sous-programme est écrit en code EIA, la notation est O7100. S'il est écrit en code ISO, la notation est :7100. Le mot M99 indique la fin du sous-programme.

7.10 TABLEAUX DE PROGRAMMATION POUR UN TOUR

--- TABLEAU DES ADRESSES ---
(Tour à contrôle GN 6TB-2)

A Angle de la pointe de l'outil.
D Profondeur de coupe par passe
(ou) nombre de passes
(ou) distance de dégagement.
E Vitesse d'avance pour filetage de précision.
F Vitesse d'avance.
G Fonction préparatoire.
I Position selon l'axe X du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire
(ou) dimension pour usinage conique
(ou) profondeur de coupe.
K Position selon l'axe Z du centre de courbure de l'arc de cercle lors d'une interpolation circulaire
(ou) dimension pour usinage conique
(ou) profondeur de coupe.
M Fonction auxiliaire.
N Numéro de bloc.
O Numéro du programme.
P Numéro d'outil
(ou) numéro de bloc pour cycle d'usinage.
Q Numéro de bloc pour cycle d'usinage
(ou) facteur de position du point de référence.
R Rayon de courbure de la surface usinée
(ou) rayon de l'outil.
S Vitesse de rotation de la broche.
T Sélection de l'outil
(ou) sélection de la compensation d'outil.
U Mouvement incrémental de translation parallèle à l'axe X.
W Mouvement incrémental de translation parallèle à l'axe Z.
X Mouvement principal de translation parallèle à l'axe X (programmation absolue).
Z Mouvement principal de translation parallèle à l'axe Z (programmation absolue).

TABLEAU 7.1

Codes de tournage

--- TABLEAU DES CODES G ---
(Tour à contrôle GN 6TB-2)

G00	Déplacement rapide modal.
G01	Interpolation linéaire.
G02	Interpolation circulaire, sens horaire.
G03	Interpolation circulaire, sens antihoraire.
G04	Temporisation.
G10	Tableau des compensations d'outil.
G20	Programmation en pouces.
G21	Programmation en millimètres.
G27	Vérification de l'origine machine.
G28	Retour à l'origine machine.
G29	Déplacement en passant par le point intermédiaire.
G32	Filetage droit ou conique.
G40	Annulation de la compensation d'outil.
G41	Compensation d'outil à gauche.
G42	Compensation d'outil à droite.
G50	Redéfinition de l'origine des axes (ou) spécification de la vitesse maximale de rotation.
G70	Cycle de finition.
G71	Cycle d'ébauche en chariotage.
G72	Cycle d'ébauche en surfaçage.
G73	Cycle de profilage.
G74	Cycle de perçage par becquetage selon l'axe Z.
G75	Cycle de rainurage selon l'axe X.
G76	Cycle de filetage complet.
G90	Cycle de chariotage.
G92	Cycle de filetage (une passe).
G94	Cycle de surfaçage.
G96	Vitesse périphérique constante.
G97	Vitesse périphérique constante annulée.
G98	Avance par minute.
G99	Avance par tour.

TABLEAU 7.2

--- TABLEAU DES CODES M ---
(Tour à contrôle GN 6TB-2)

M00	Arrêt du programme.
M02	Fin du programme.
M03	Rotation horaire de la broche.
M04	Rotation antihoraire de la broche.
M05	Arrêt de la rotation de la broche.
M07	Arrosage numéro 2 (vaporisation).
M08	Arrosage numéro 1 (liquide).
M09	Arrêt de l'arrosage.
M30	Fin du programme pièce et rebobinage de la bande perforée.
M98	Appel du sous-programme.
M99	Fin du sous-programme.

TABLEAU 7.3

--- TABLEAU DES FORMATS D'ADRESSE ---
(Tour à contrôle GN 6TB-2)

ADRESSE	FORMAT	LIMITE	RÉSOLUTION DU DCN
A	XX	Voir le code G76	
D	*(mm)(+/-)XXXXX.XXX	0 à 99999.999 mm	0.001 mm
	(po)(+/-) XXXX.XXXX	0 à 9999.9999 po	0.0001 po
E	(mm)(+/-) XXX.XXXX	.0001 à 500mm/rév	.0001 mm/rév
	(po)(+/-) X.XXXXXX	.000001 à 9.999999 po/rév	.000001 po/rév
F/rév	(mm)(+/-) XXX.XX	.01 à 500 mm/rév	.01 mm/rév
	(po)(+/-) XX.XXXX	.0001 à 50po/rév	.0001 po/rév
F/min	(mm)(+/-)XXXXX.	1 à 15000 mm/min	1 mm/min
	(po)(+/-) XXX.XX	.01 à 600 po/min	.01 po/min
G	XX	Voir tableau des codes G	
I K	(mm)(+/-)XXXXX.XXX	0 à 99999.999 mm	0.001 mm
	(po)(+/-) XXXX.XXXX	0 à 9999.9999 po	0.0001 po
M	XX	Voir tableau des codes M	
N	XXXX	1 à 9999	1
O	XXXX	1 à 9999	1
P Q	XXXX	1 à 9999	1

Codes de tournage

ADRESSE	FORMAT	LIMITE	RÉSOLUTION DU DCN
R	(mm)(+/-)XXXXX.XXX	0 à 99999.999 mm	0.001 mm
	(po)(+/-) XXXX.XXXX	0 à 9999.9999 po	0.0001 po
S	(RPM) XXXX	0 à 9999 RPM	1 RPM
	(pi/min) XXXX	0 à 9999 pi/min	1 pi/min
	(m/min) XXXX	0 à 9999 m/min	1 m/min
T	XXXX	0 à 9964	1
U W	(mm)(+/-)XXXXX.XXX	0 à 99999.999 mm	0.001 mm
	(po)(+/-) XXXX.XXXX	0 à 9999.9999 po	0.0001 po
X Z	(mm)(+/-)XXXXX.XXX	0 à 99999.999 mm	0.001 mm
	(po)(+/-) XXXX.XXXX	0 à 9999.9999 po	0.0001 po

* Dans certains cas le mot D ne peut prendre qu'une valeur entière.

TABLEAU 7.4

--- TABLEAU DES CODES G SPÉCIAUX ---
(Tour à contrôle GN 6TB-2)

Standard	Spéciaux B	Spéciaux C	
G00	G00	G00	Déplacement rapide modal.
G01	G01	G01	Interpolation linéaire.
G02	G02	G02	Interpolation circulaire, sens horaire.
G03	G03	G03	Interpolation circulaire, sens antihoraire.
G04	G04	G04	Temporisation.
G07	G07	G07	Avance de forme sinusoïdale.
G10	G10	G10	Tableau des compensations d'outil.
G20	G20	G70	Programmation en pouces.
G21	G21	G71	Programmation en millimètres.
G22	G22	G22	Zones interdites activées.
G23	G23	G23	Annulation des zones interdites.
G27	G27	G27	Vérification de l'origine machine.
G28	G28	G28	Retour à l'origine machine.
G29	G29	G29	Déplacement en passant par le point intermédiaire.
G30	G30	G30	Retour à un 2e point de référence.
G31	G31	G31	Saut au bloc suivant.
G32	G33	G33	Filetage droit ou conique.

Codes de tournage

Standard	Spéciaux B	Spéciaux C	
G34	G34	G34	Filetage à pas variable.
G36	G36	G36	Compensation automatique d'outil en X.
G37	G37	G37	Compensation automatique d'outil en Z.
G40	G40	G40	Annulation de la compensation d'outil.
G41	G41	G41	Compensation d'outil à gauche.
G42	G42	G42	Compensation d'outil à droite.
G50	G92	G92	Redéfinition de l'origine des axes (ou) spécification de la vitesse maximale de rotation.
G65	G65	G65	Appel non modal de variables.
G66	G66	G66	Appel modal de variables.
G67	G67	G67	Annulation de l'appel de variables.
G68	G68	G68	Image miroir activée.
G69	G69	G69	Image miroir désactivée.
G70	G70	G72	Cycle de finition.
G71	G71	G73	Cycle d'ébauche en chariotage.
G72	G72	G74	Cycle d'ébauche en surfaçage.
G73	G73	G75	Cycle de profilage.
G74	G74	G76	Cycle de perçage par becquetage selon l'axe Z.
G75	G75	G77	Cycle de rainurage selon l'axe X.
G76	G76	G78	Cycle de filetage complet.
G90	G77	G20	Cycle de chariotage.
G92	G78	G21	Cycle de filetage (une passe).
G94	G79	G24	Cycle de surfaçage.
G96	G96	G96	Vitesse périphérique constante.
G97	G97	G97	Vitesse périphérique constante annulée.
G98	G94	G94	Avance par minute.
G99	G95	G95	Avance par tour.
---	G90	G90	Programmation en coordonnées absolues.
---	G91	G91	Programmation en coordonnées incrémentales.

TABLEAU 7.5

--- TABLEAU DES CODES G ---
(Tour à contrôle OSP 3000L)

G00	Déplacement rapide modal.
G01	Interpolation linéaire.
G02	Interpolation circulaire, sens horaire.
G03	Interpolation circulaire, sens antihoraire.
G04	Temporisation.
G13	Sélection de la tourelle A.
G14	Sélection de la tourelle B.
G25	Fonction de bridage de la broche.
G26	Fonction de bridage de la broche.
G27	Fonction de bridage de la broche.
G28	Fonction de bridage de la broche.
G33	Cycle de filetage.
G34	Filetage à pas croissant.
G35	Filetage à pas décroissant.
G40	Annulation de la compensation d'outil.
G41	Compensation d'outil à gauche.
G42	Compensation d'outil à droite.
G50	Redéfinition de l'origine des axes (ou) spécification de la vitesse maximale de rotation.
G64	Usinage de coins arrondis.
G65	Usinage de coins arrondis annulé.
G80	Annulation des cycles G81 à G87.
G81	Cycle de chariotage.
G82	Cycle de surfaçage.
G83	Cycle de rainurage.
G85	Cycle de chariotage cylindrique.
G86	Cycle de chariotage de pièces forgées.
G87	Cycle de finition.
G90	Programmation en coordonnées absolues.
G91	Programmation en coordonnées incrémentales.
G96	Vitesse périphérique constante.
G97	Vitesse périphérique constante annulée.

TABLEAU 7.6

--- TABLEAU DES CODES M ---
(Tour à contrôle OSP 3000L)

M00	Arrêt du programme.
M01	Arrêt du programme facultatif.
M02	Fin du programme.
M03	Rotation horaire de la broche.
M04	Rotation antihoraire de la broche.
M05	Arrêt de la rotation de la broche.
M08	Arrosage activé.
M09	Arrêt de l'arrosage.
M22	Annulation du chanfreinage.
M23	Chanfreinage.
M24	Fonction de bridage désactivée.
M25	Fonction de bridage activée.
M26	Annulation du filetage de précision.
M27	Filetage de précision.
M28	Filetage de précision.
M30	Rebobinage de la bande perforée.
M40	Vitesses désangagées.
M41	Vitesse no 1 (20 à 195 RPM).
M42	Vitesse no 2 (55 à 510 RPM).
M43	Vitesse no 3 (90 à 840 RPM).
M44	Vitesse no 4 (240 à 2200 RPM).

TABLEAU 7.7

CHAPITRE 7

LES CODES DE PROGRAMMATION
OPÉRATIONS DE TOURNAGE

TRAVAUX

---

1 - Dessinez le trajet de l'outil de la section de programme suivante (l'outil se situe au départ en X=0.0 et Z=0.0).

```
X0.0 Z0.0 ;
U2.0 W2.0 ;
Z0.0 X4.0 ;
W4.0 U0.0 ;
X2.0 Z6.0 ;
U-2.0 W-2.0 ;
U-2.0 W2.0 ;
Z2.0 ;
X-4.0 Z0.0 ;
```

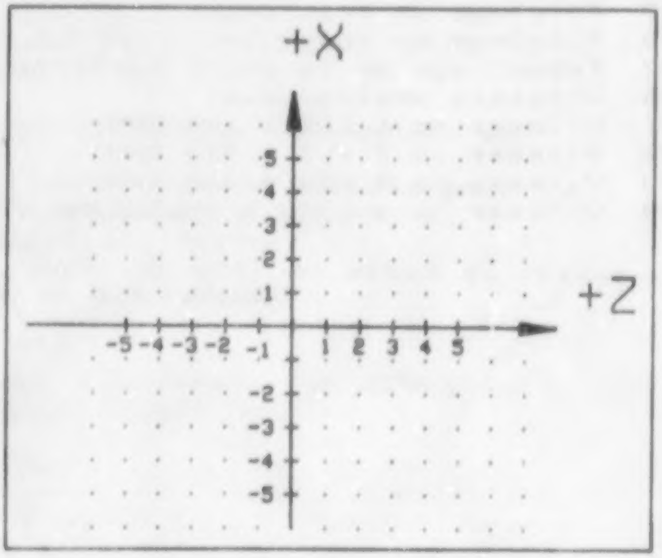


FIGURE 7.A

2 - Trouvez les unités de mesure du mot F pour chacune des sections de programme pièce suivantes.

Programme A	Programme B	Programme C	Programme D
G20 ;	G20 ;	G21 ;	G21 ;
G98 ;	G99 ;	G98 ;	G99 ;
F10.0 ;	F0.01 ;	F150. ;	F0.5 ;
:	:	:	:

3 - Trouvez les unités de mesure du mot S pour chacune des sections de programme pièce suivantes.

Programme A	Programme B	Programme C	Programme D
G20 ;	G20 ;	G21 ;	G21 ;
G96 ;	G97 ;	G96 ;	G97 ;
S200 ;	S1000 ;	S100 ;	S2000 ;
:	:	:	:

4 - Voici une section de programme pièce.

G21 ;
G73 P200 Q300 I0.05 K0.04 U0.02 W0.03 D5 T0102 ;
:

A) Ce cycle permet l'usinage en combien de passes?
B) Quelle est la surépaisseur laissée pour la passe de finition selon l'axe X?
C) Quel est l'outil utilisé?
D) Quel est le numéro de bloc du début du trajet pour la passe de finition?

5 - Est-ce que le tour à contrôle "GN 6TB-2" accepte les mots suivants?

A) X100.00
B) G10.0
C) T0404
D) F5.
E) A0.5

6 - Quel est le code qui provoque un retour à Om?

7 - Voici une section de programme pièce.

```
G20 G97 ;
  :
S500 T0101 ;
G72 P100 Q200 U0.01 W0.01 D500 S400 T0202 ;
N100 G01 Z0.5 S300 T0303 ;
  :
```

Quel est le numéro de la compensation d'outil utilisée et la vitesse de rotation de la pièce lors de l'exécution du cycle d'ébauche en surfaçage?

N.B. Certains problèmes du chapitre 6 peuvent aussi bien servir au chapitre 7.

--- CHAPITRE 8 ---

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UNE FRAISEUSE À CN

Puisque les outils utilisés pour usiner une pièce sur une MOCN n'ont pas toujours la même longueur et qu'ils ont tous un certain diamètre, il faut continuellement effectuer des compensations d'outil.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Familiariser l'élève avec l'utilisation des compensations de longueur et de diamètre d'outil lors d'opérations de fraisage.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre, l'élève devrait être capable de...
    - programmer et faire fonctionner une fraiseuse à CN avec plus d'un outil, sans les compensations d'outil automatiques;
    - mesurer les outils correctement;
    - calculer les compensations de longueur et de diamètre d'outil et les insérer dans le tableau des compensations d'outil de la MOCN;
    - programmer et faire fonctionner une fraiseuse à CN en utilisant les compensations d'outil automatiques;
    - appliquer les notions théoriques ci-haut mentionnées au matériel présent dans l'atelier.

8.1 LES COMPENSATIONS DE LA LONGUEUR D'OUTIL

De prime abord, lorsqu'on programme une cote Z, le DCN comprend qu'il doit placer le porte-outil à un certain niveau Z. Mais le DCN ne connaît pas si l'outil mesure 0.375, 0.75 ou 1.5 pouce de longueur.

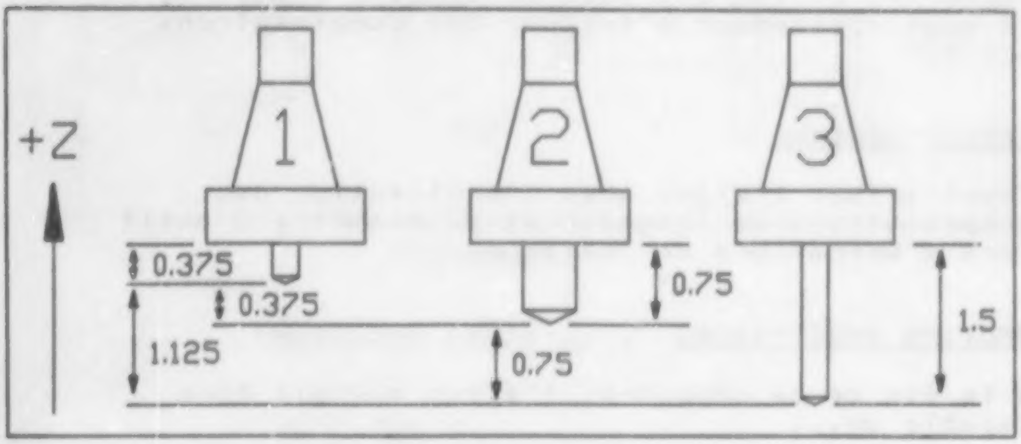


FIGURE 8.1

Pour que les pointes des 3 forets de la figure 8.1 soient au même niveau Z, il faudrait un programme pièce qui ressemble à l'un des 2 programmes pièces suivants.

PROGRAMME PIÈCE NO 1

```
 :
N120 T01 *
N130 G01 Z0.0 *
 :
N340 T02 *
N350 G01 Z+0.375 *
 :
N510 T03 *
N520 G01 Z+1.125 *
 :
```

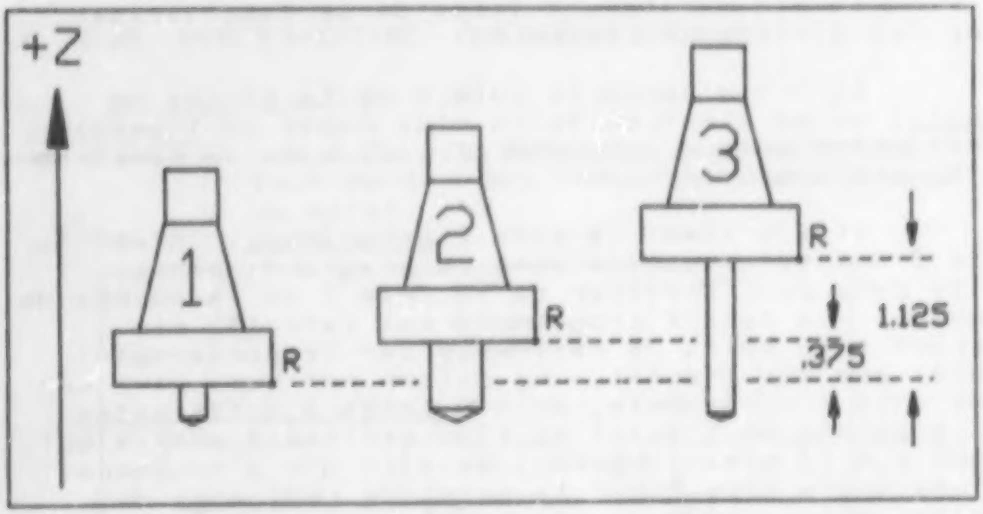


FIGURE 8.2

PROGRAMME PIÈCE NO 2

```
:
N120 T01 *
N130 G01 Z-1.125 *
:
N340 T02 *
N350 G01 Z-0.75 *
:
N510 T03 *
N520 G01 Z0.0 *
:
```

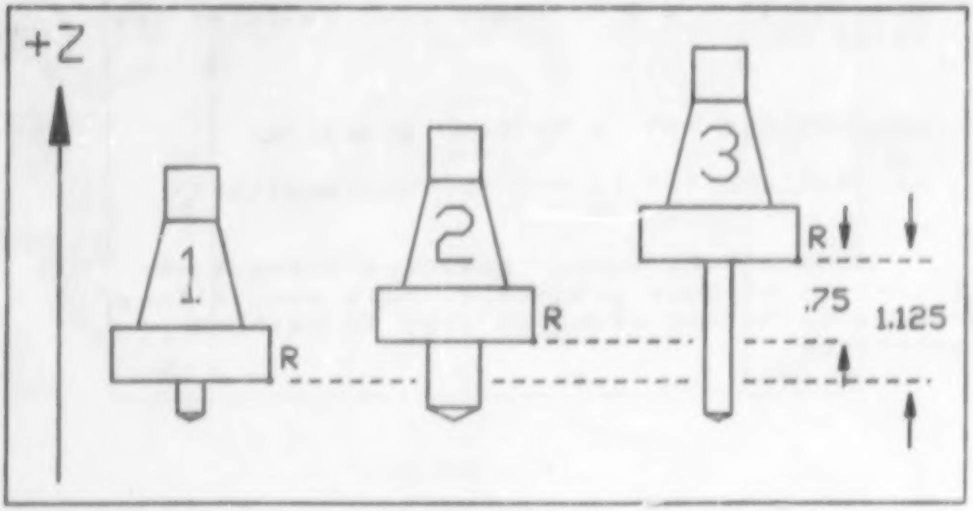


FIGURE 8.3

Il est maintenant temps de se familiariser avec les différentes cotes Z.

Il y a d'abord la cote Z de la pointe de l'outil ou de l'extrémité la plus basse de l'outil. C'est cette cote Z qui doit être ajustée en fonction de la pièce à usiner.

Il y a aussi la cote Z programmée. C'est la cote Z qui est inscrite dans le programme pièce. Cette cote peut différer de la cote Z de la pointe de l'outil. La cote Z programmée est calculée par rapport à un point de référence sur le porte-outil plutôt que sur l'outil. La raison est que, pour une même cote Z programmée, on a 2 cotes Z différentes de la pointe de l'outil si l'on utilise 2 outils qui n'ont pas la même longueur, mais il n'y a toujours qu'une seule cote Z sur le point de référence du porte-outil.

On appelle donc Zb, la cote Z de la pointe de l'outil et Zp, la cote Z programmée (Zb pour Bas de l'outil et Zp pour Programmée). Le point de référence sur le porte-outil s'appelle le point R.

Mise en situation

Un programmeur qui veut écrire son programme connaît les cotes Zb. Il sait à quel niveau Z doit pénétrer l'outil dans la pièce. Ce qu'il ignore, c'est ce qu'il doit programmer pour que la pointe de l'outil se retrouve au bon niveau Z. Il connaît donc Zb et cherche Zp pour chaque outil. Il y a 2 méthodes pour calculer les cotes Zp.

La première est la méthode graphique.

La deuxième est la méthode mathématique.

Nous allons donner quelques exemples en utilisant la méthode graphique, puis nous allons reprendre un de ces exemples avec la méthode mathématique.

8.1.1 LA MÉTHODE GRAPHIQUE

Exemple no 1: Les 3 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

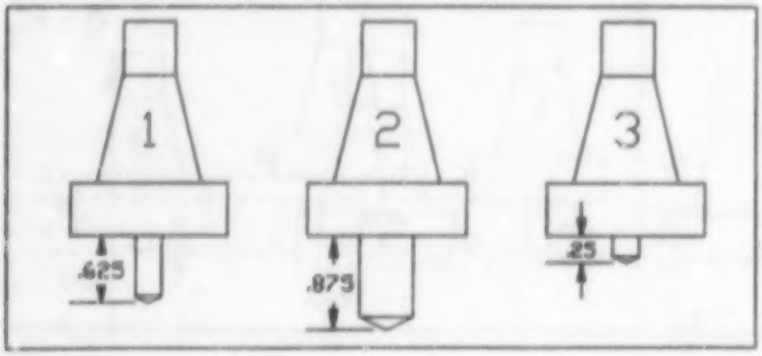


FIGURE 8.4

En programmant Zp=0.0, le bas du porte-outil (Point R) est au niveau Zb=0.0. On veut que les pointes des 3 forets soient tour à tour au niveau Zb=0.0. Quelle doit alors être la cote Zp programmée pour chaque foret?

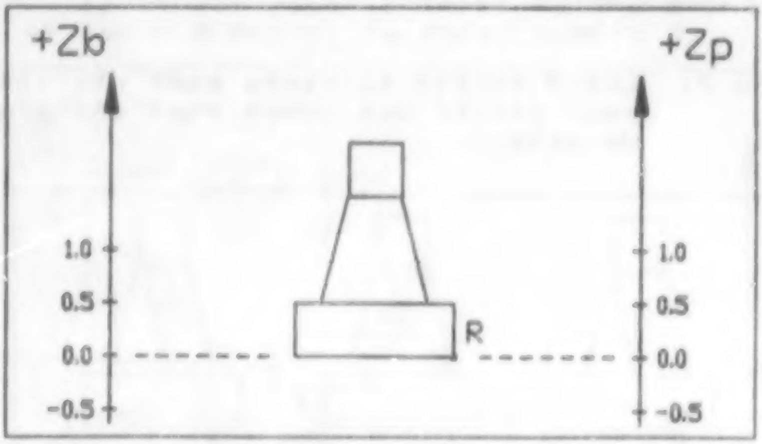


FIGURE 8.5

Solution: Il faudra programmer...

Zp=+0.625 pour le foret numéro 1,
Zp=+0.875 pour le foret numéro 2
et Zp=+0.250 pour le foret numéro 3.

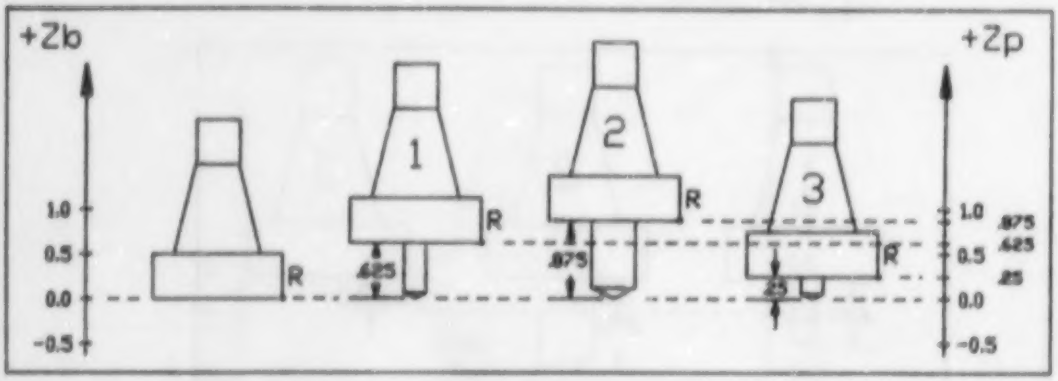


FIGURE 8.6

N.B. Lorsqu'on a un problème de compensation de longueur d'outil, il est beaucoup plus facile de le résoudre graphiquement que mentalement. En dessinant les outils sur une feuille de papier avec leur porte-outil et en traçant les droites graduées Zb et Zp, on évite bien des erreurs de programmation de la cote Zp.

Exemple no 2: Les 3 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

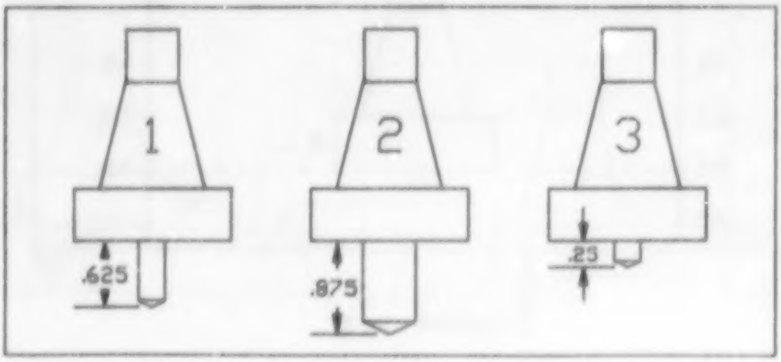


FIGURE 8.7

En programmant Zp=0.0 avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=0.0. On veut quw les pointes des 3 forets soient tour à tour au niveau Zb=0.0. Quelle doit alors être la cote Z programmée pour chaque foret?

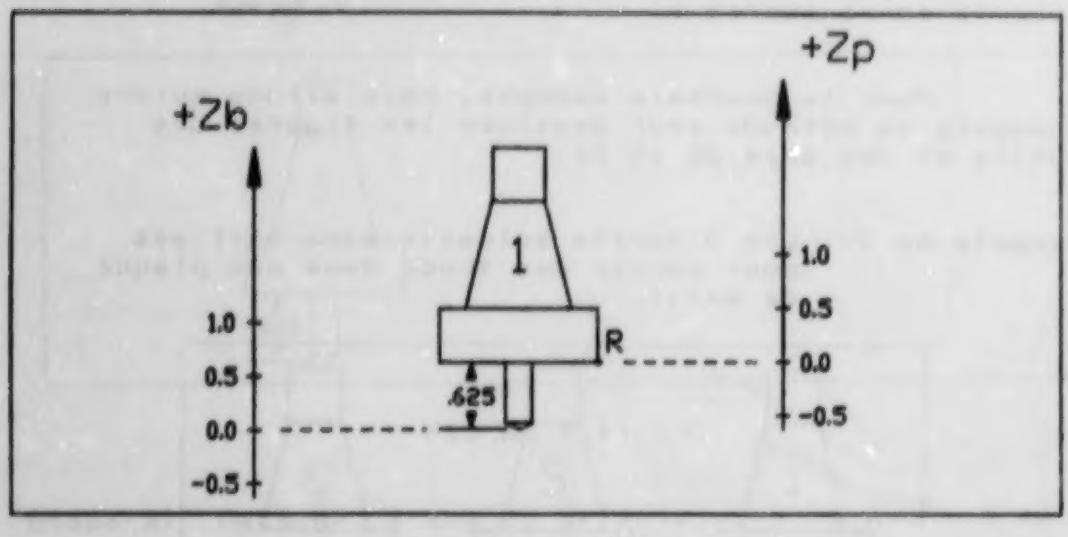


FIGURE 8.8

Solution: Il faudra programmer...

Zp= 0.000 pour le foret numéro 1,
Zp=+0.250 pour le foret numéro 2
et Zp=-0.375 pour le foret numéro 3.

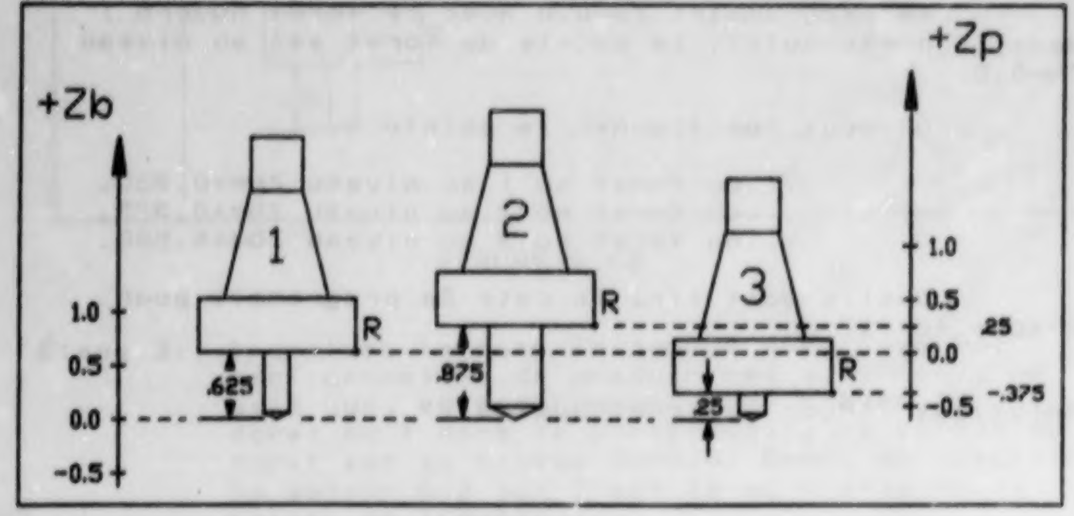


FIGURE 8.9

Le point R du porte-outil avec le foret numéro 2 est 0.25 plus haut que le point R du porte-outil avec le foret numéro 1.

Le point R du porte-outil avec le foret numéro 3 est 0.375 plus bas que le point R du porte-outil avec le foret numéro 1.

Pour le prochain exemple, nous allons suivre ensemble la méthode pour dessiner les figures des outils et des axes Zb et Zp.

Exemple no 3: Les 3 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

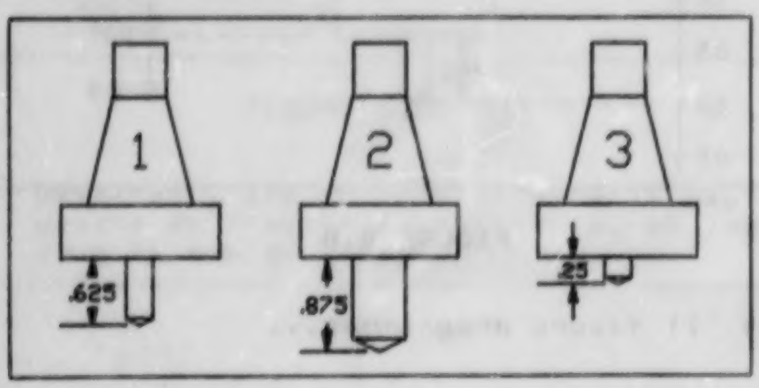


FIGURE 8.10

En programmant Zp=0.0 avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=0.0.

On veut positionner la pointe ...

...du foret no 1 au niveau Zb=+0.250.
...du foret no 2 au niveau Zb=+0.375.
...du foret no 3 au niveau Zb=+0.500.

Quelle doit être la cote Zp programmée pour chaque foret?

Solution: (Pour le foret numéro 2)

Étape 1: Dessinez l'outil de référence avec le porte-outil et le point de référence sur le porte-outil en indiquant bien le numéro de l'outil sur le dessin. (Ici, l'outil de référence est le foret no 1, puisque l'on connaît une cote Zb correspondant à une cote Zp pour ce foret.)

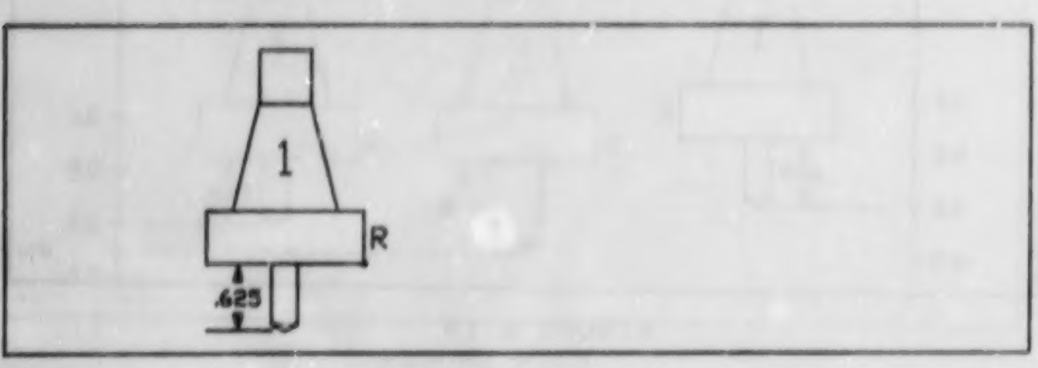


FIGURE 8.11

Étape 2: Dessinez l'axe Zb orienté vers le haut, à la gauche de l'outil de référence, en indiquant bien le nom de l'axe.

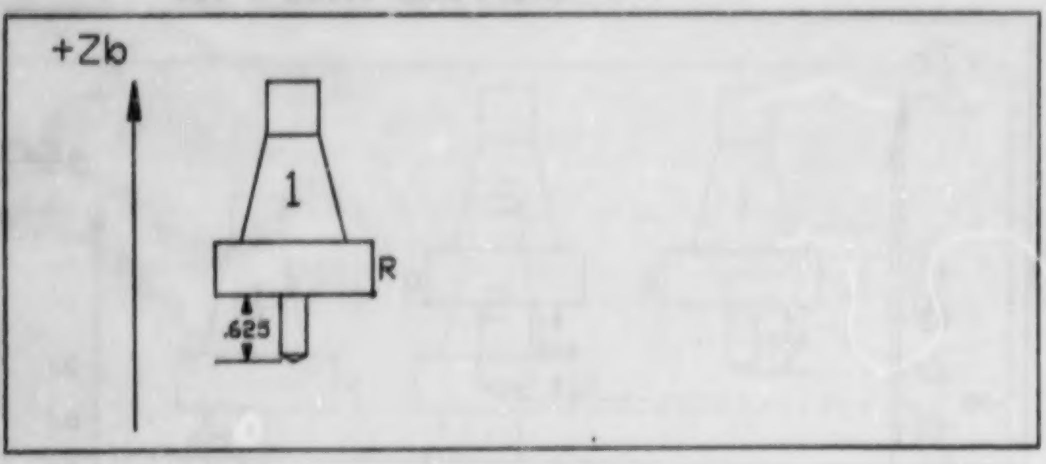


FIGURE 8.12

Étape 3: Inscrivez la cote Zb connue sur l'axe Zb; ceci permettra de graduer cet axe. (Ici, on sait que, en programmant Zp=0.0 avec le foret no 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=0.0. Donc, on inscrit la valeur 0.0 sur l'axe Zb au niveau de la pointe de l'outil.)

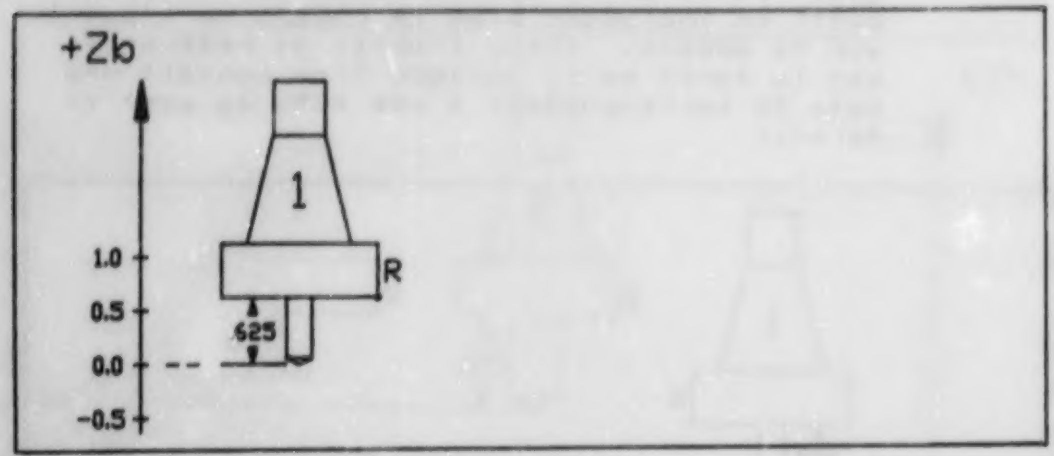


FIGURE 8.13

Étape 4: Dessinez l'outil analysé, à la droite de l'outil de référence, avec son porte-outil au même niveau que l'outil de référence. (Ici, c'est le foret no 2 qui est l'outil analysé.)

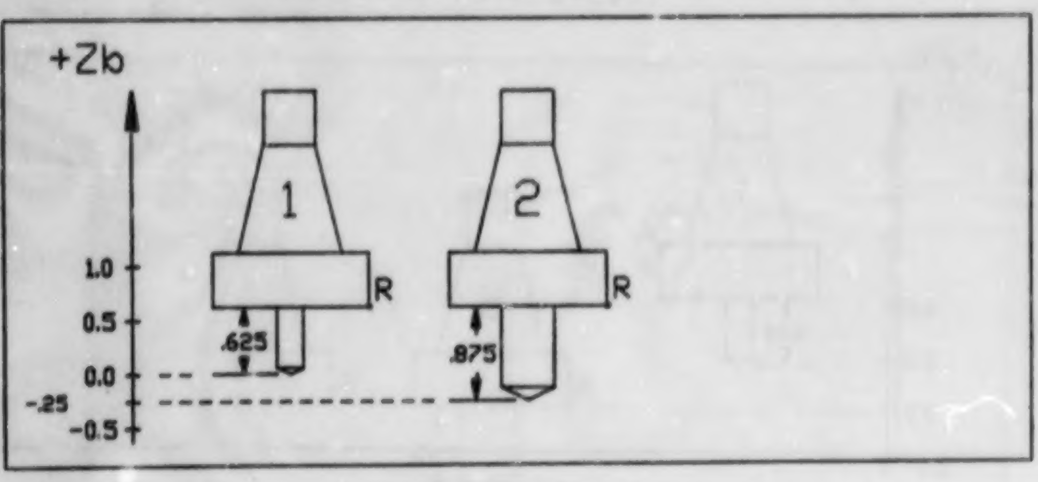


FIGURE 8.14

Étape 5: Dessinez l'axe Zp orienté vers le haut, à l'extrême droite de la feuille, en indiquant bien le nom de l'axe.

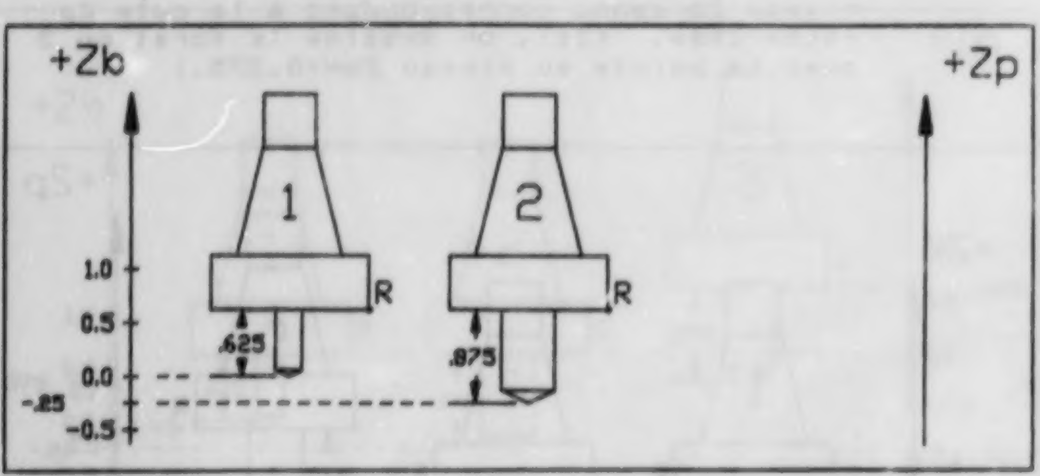


FIGURE 8.15

Étape 6: Inscrivez la cote Zp connue sur l'axe Zp; ceci permettra de graduer cet axe. (Ici, on inscrit la valeur 0.0 sur l'axe Zp au niveau du point R de l'outil no 1, car l'outil no 1 est l'outil de référence.)

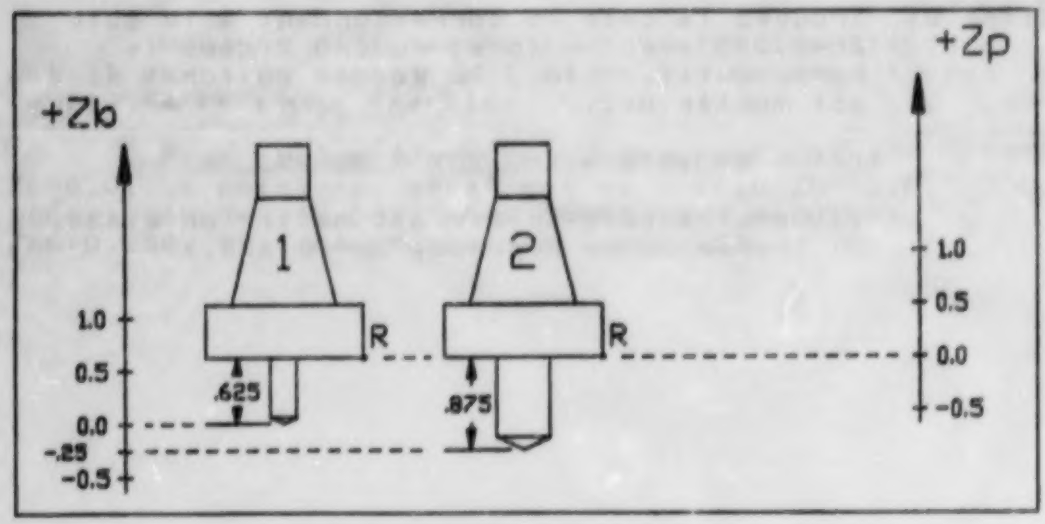


FIGURE 8.16

Étape 7: Dessinez l'outil analysé à la gauche de l'axe Zp. La pointe de l'outil est au niveau Zb connu correspondant à la cote Zp recherchée. (Ici, on dessine le foret no 2 avec la pointe au niveau Zb=+0.375.)

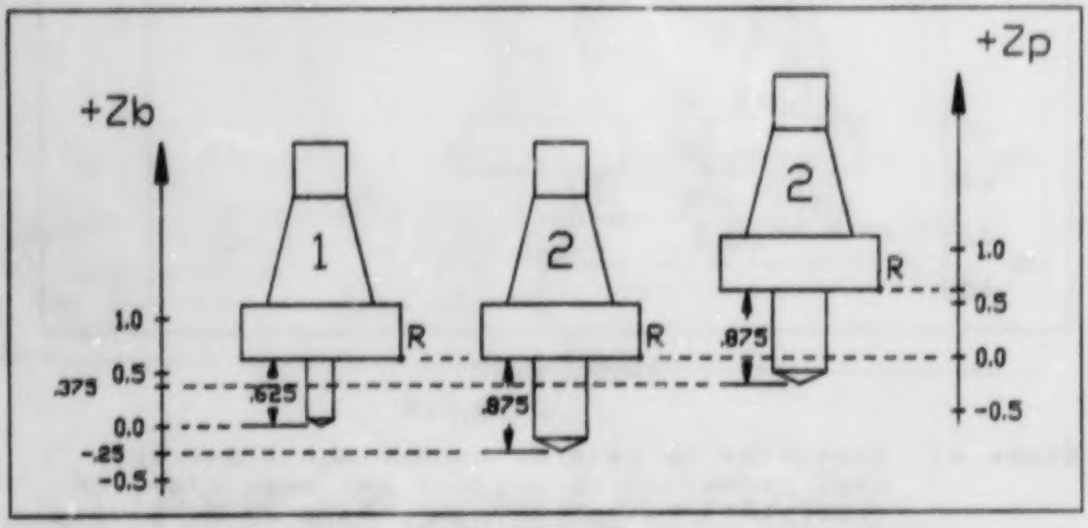


FIGURE 8.17

Étape 8: Trouvez la cote Zp correspondant à la cote Zb=0.375 avec le foret numéro 2 dans le porte-outil. (Ici, la pointe du foret no 2 est montée de...

$$.375 - (-0.25) = 0.625$$

...donc la cote Zp devrait monter de 0.625. On trouve comme réponse, Zp=+0.625.)

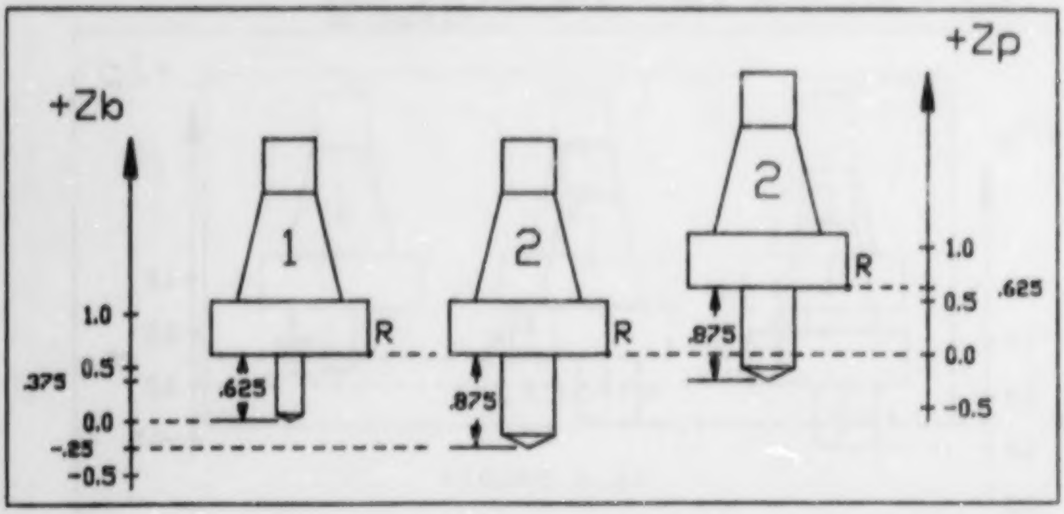


FIGURE 8.18

<u>Pour le foret numéro 2</u>, en programmant Zp=0.0, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.250. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=+0.375, il faut programmer Zp=+0.625.

Nous ne dessinerons plus toutes les étapes en détail pour les forets no 1 et no 3. Ce sera à vous de les faire comme exercice.

<u>Pour le foret numéro 1</u>, en programmant Zp=0.0, la pointe du foret est au niveau Zb=+0.0. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=+0.250, il faut programmer Zp=+0.250.

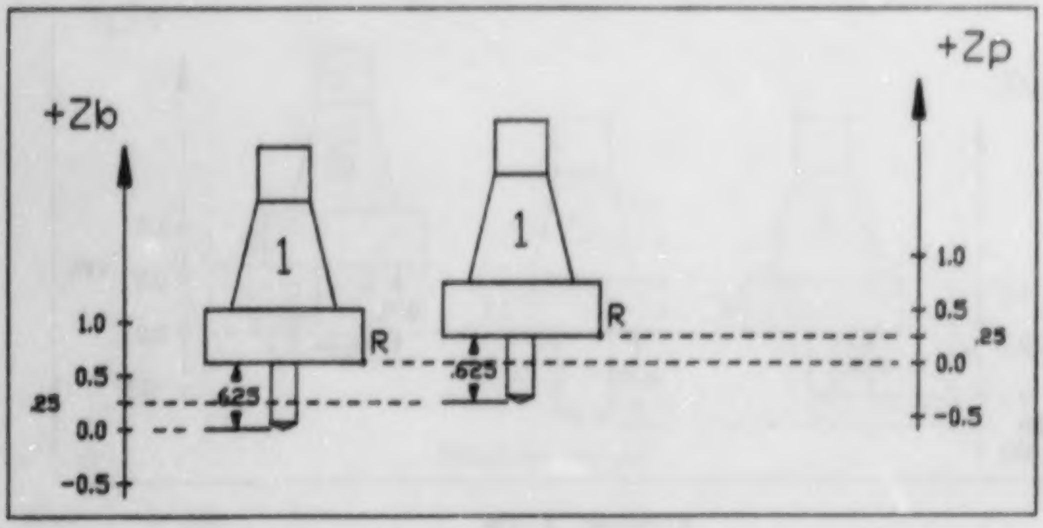


FIGURE 8.19

Pour le foret numéro 3, en programmant Zp=0.0, la pointe du foret est au niveau Zb=+0.375. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=+0.500, il faut programmer Zp=+0.125.

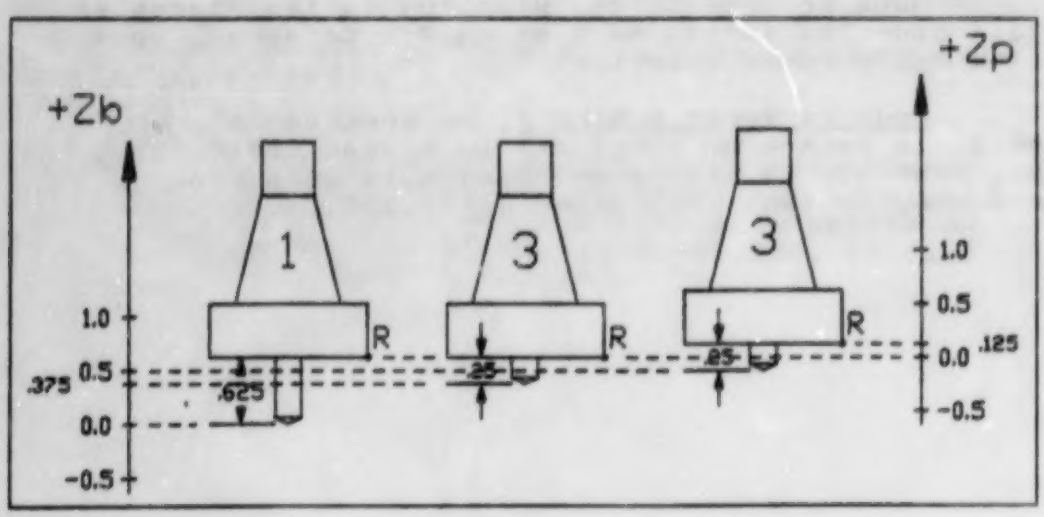


FIGURE 8.20

Exemple no 4: Les 3 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

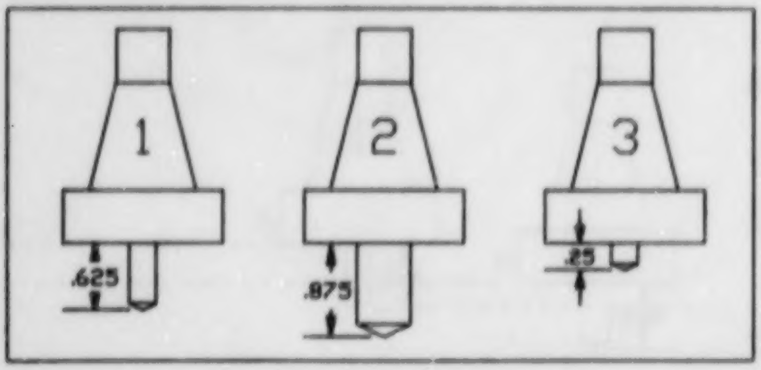


FIGURE 8.21

En programmant Zp=0.0 avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.125.

On veut positionner la pointe ...

...du foret no 1 au niveau Zb=+0.250.
...du foret no 2 au niveau Zb=-0.125.
...du foret no 3 au niveau Zb=+0.375.

Quelle doit alors être la cote Zp programmée pour chaque foret?

Solution: <u>Pour le foret numéro 1</u>, en programmant Zp=0.0, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.125. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=+0.250, il faut programmer Zp=+0.375.

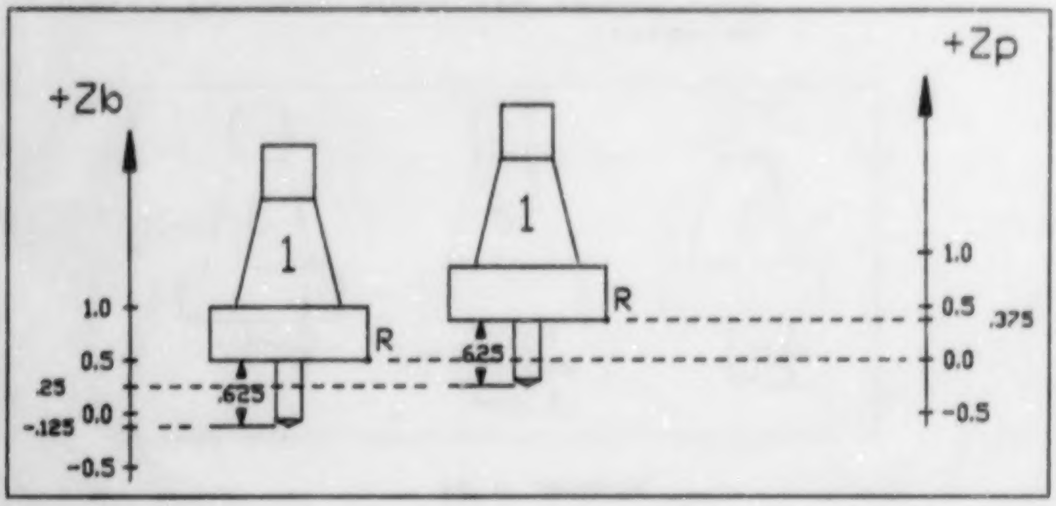


FIGURE 8.22

<u>Pour le foret numéro 2</u>, en programmant Zp=0.0, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.375. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=-0.125, il faut programmer Zp=+0.250.

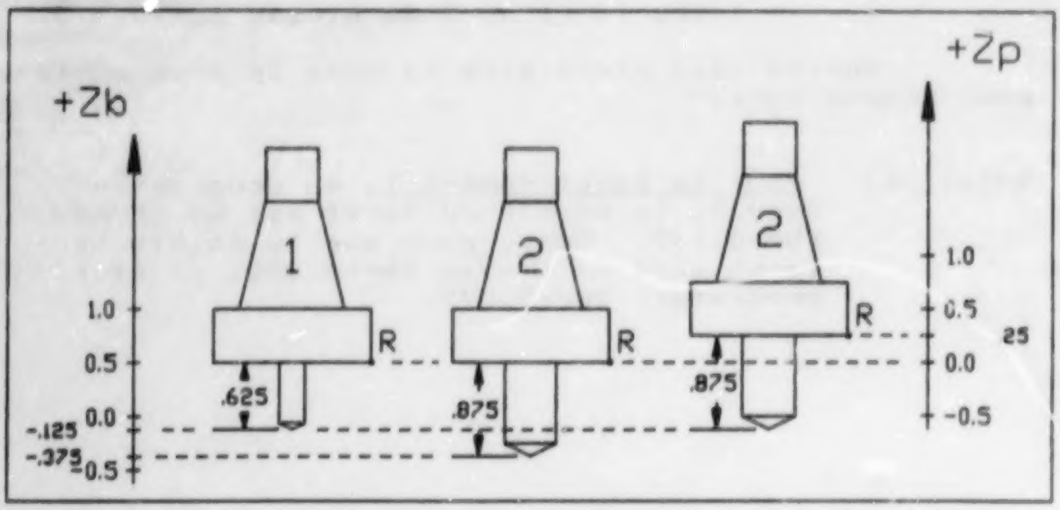


FIGURE 8.23

<u>Pour le foret numéro 3</u>, en programmant Zp=0.0, la pointe du foret est au niveau Zb=+0.250. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=+0.375, il faut programmer Zp=+0.125.

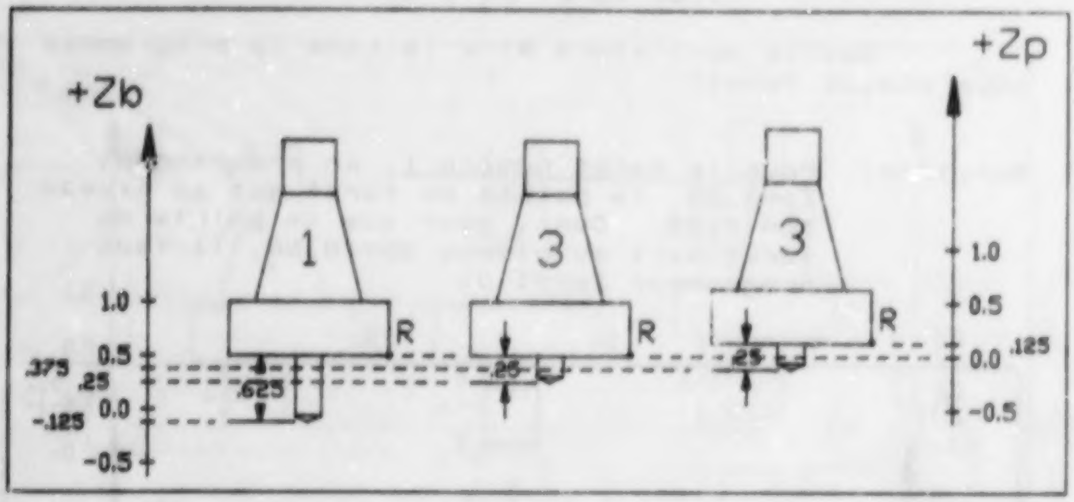


FIGURE 8.24

Exemple no 5: Les 3 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

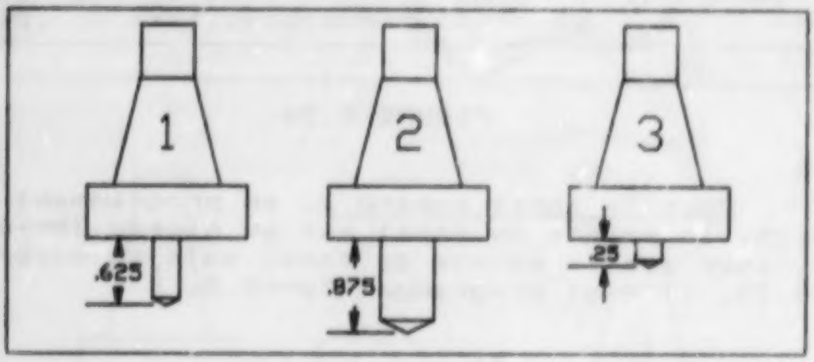


FIGURE 8.25

En programmant Zp=0.25, avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.25.

On veut positionner la pointe ...

...du foret no 1 au niveau Zb=+0.500.
...du foret no 2 au niveau Zb=-0.250.
...du foret no 3 au niveau Zb=-0.375.

Quelle doit alors être la cote Zp programmée pour chaque foret?

Solution: Pour le foret numéro 1, en programmant Zp=0.25, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.25. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=+0.50, il faut programmer Zp=+1.0.

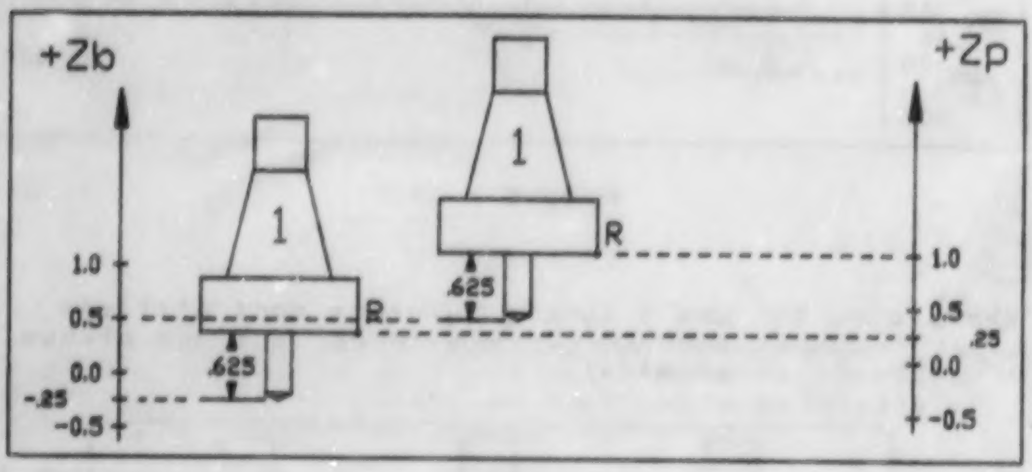


FIGURE 8.26

Pour le foret numéro 2, en programmant Zp=0.25, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.5. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=-0.25, il faut programmer Zp=+0.5.

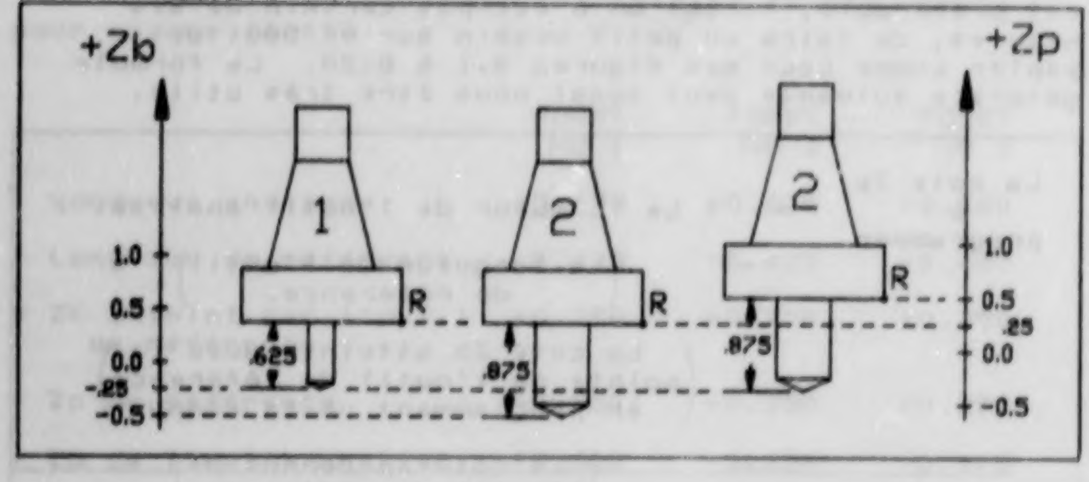


FIGURE 8.27

__Pour le foret numéro 3__, en programmant Zp=0.25, la pointe du foret est au niveau Zb=+0.125. Donc, pour que la pointe du foret soit au niveau Zb=-0.375, il faut programmer Zp=-0.25.

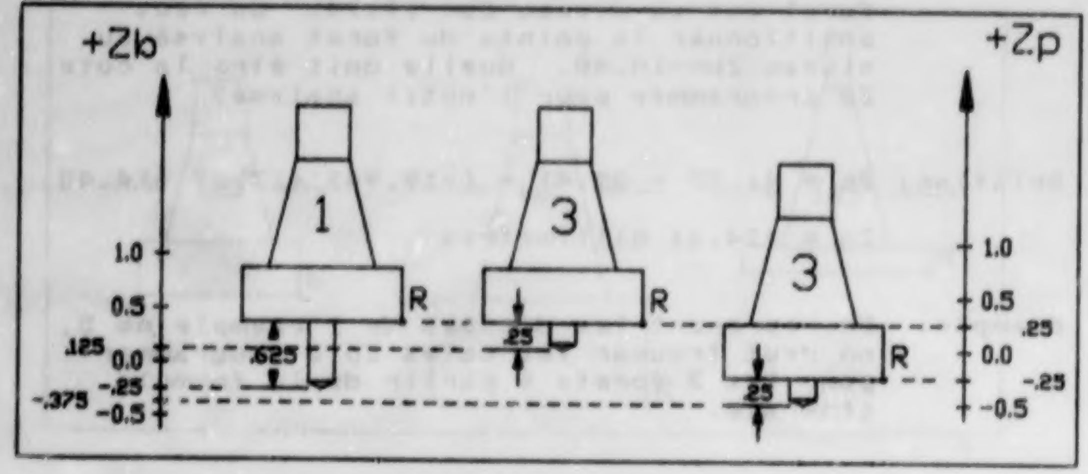


FIGURE 8.28

8.1.2 LA MÉTHODE MATHÉMATIQUE

Il est très facile de se tromper en évaluant les cotes Zp d'un programme pièce. C'est pourquoi, il est préférable, lorsqu'on n'est pas certain de ses mesures, de faire un petit dessin sur un bout de papier comme ceux des figures 8.1 à 8.28. La formule générale suivante peut aussi nous être très utile.

La cote Zp à programmer	=	(La longueur de l'outil analysé.)
	−	(La longueur de l'outil de référence.)
	−	(La cote Zb atteinte avec la pointe de l'outil de référence en programmant un Zp connu.)
	+	(La cote Zp connue de l'outil de référence.)
	+	(La cote Zb à atteindre avec la pointe de l'outil analysé.)

Exemple: La longueur du foret analysé est de 41.27 millimètres et la longueur du foret de référence est de 39.41 millimètres. En programmant Zp=17.29 avec le foret de référence dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=-19.94. On veut positionner la pointe du foret analysé au niveau Zb=-14.48. Quelle doit être la cote Zp programmée pour l'outil analysé?

Solution: $Zp = 41.27 - 39.41 - (-19.94) + 17.29 - 14.48$

$Zp = +24.61$ millimètres

Exemple: En reprenant les données de l'exemple no 5, on peut trouver les cotes Zp à programmer pour les 3 forets à partir de la formule générale.

En programmant Zp=0.25, avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=-0.25.

Compensations d'outil pour une fraiseuse

On veut positionner la pointe ...

...du foret no 1 au niveau Zb=+0.500.
...du foret no 2 au niveau Zb=-0.250.
...du foret no 3 au niveau Zb=-0.375.

Quelle doit alors être la cote Zp programmée pour chaque foret?

	FORET NO 1	FORET NO 2	FORET NO 3
Longueur analysée	+0.625	+0.875	+0.250
- Longueur de référence	-0.625	-0.625	-0.625
- Zb atteint par l'outil de référence	+0.250	+0.250	+0.250
+ Zp de référence	+0.250	+0.250	+0.250
+ Zb de l'outil analysé	+0.500	-0.250	-0.375
Zp à programmer	+1.000	+0.500	-0.250

On peut vérifier que les cotes Zp programmées sont les mêmes que pour l'exemple no 5.

Jusqu'ici, nous avons travaillé en ayant comme référence le point R situé au bas du porte-outil.

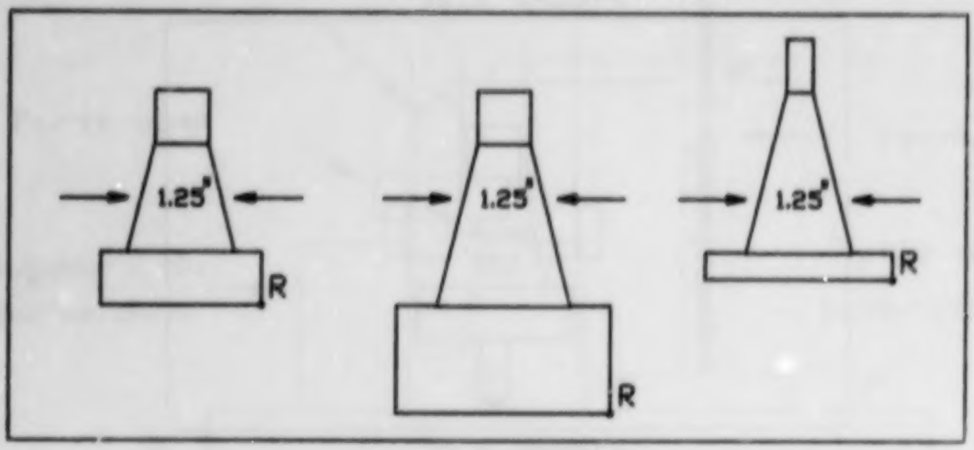


FIGURE 8.29

Compensations d'outil pour une fraiseuse

À la figure 8.29, nous avons 3 porte-outils différents où le point R n'est pas au même niveau. On ne peut plus alors calculer notre référence par rapport au point R. C'est donc dire que la formule précédente n'est valable que lorsque les porte-outils sont identiques. S'ils ne le sont pas, il faut apporter une correction, c'est-à-dire calculer la longueur de chaque outil par rapport à un certain diamètre du porte-outil (1.25 pouce par exemple).

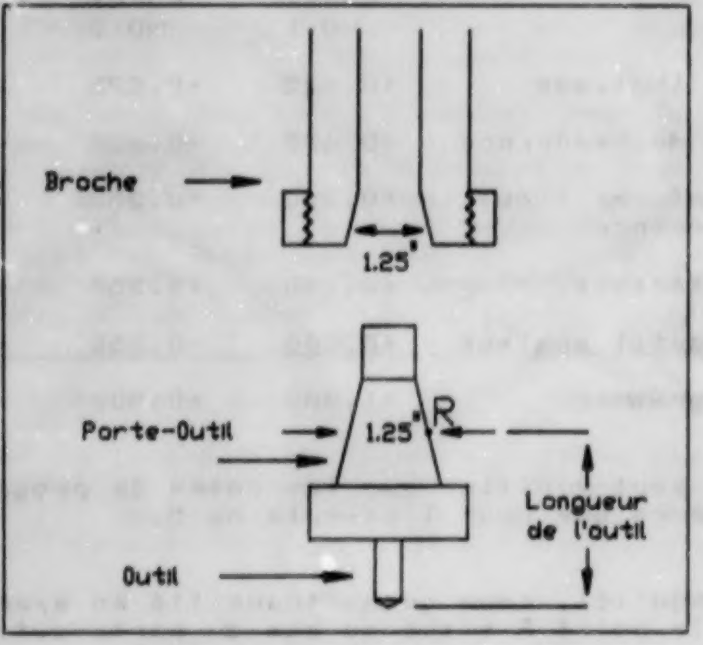


FIGURE 8.30

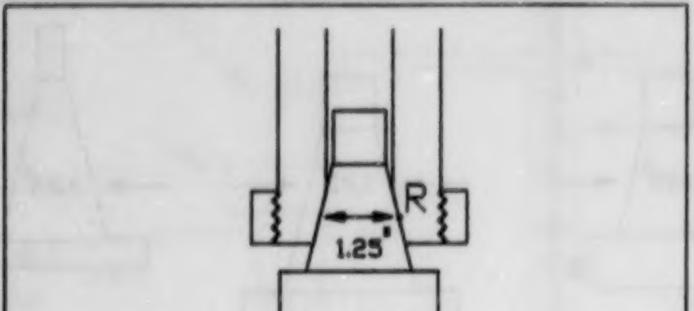


FIGURE 8.31

En résumé, en prenant comme référence un certain diamètre du porte-outil, on évite des erreurs si les porte-outils ne sont pas tous identiques.

8.2 LES COMPENSATIONS AUTOMATIQUES DE LA LONGUEUR D'OUTIL

Aujourd'hui, presque tous les DCN de MOCN sont capables d'effectuer des compensations d'outil automatiques.

À la section 8.1, pour usiner une pièce à un niveau Zb donné, il fallait trouver, pour chaque outil, la longueur et la cote Zb atteinte.

Ce calcul, avec les compensations d'outil automatiques, ne sera plus utile. Nous avons vu au chapitre 6 le code G92 qui nous permettait de situer la cote Zb à n'importe quel niveau avec un outil en particulier. En suivant une procédure simple, nous pourrons, avec les autres outils, usiner à un niveau Zb donné, sans effectuer plusieurs calculs de compensations d'outil pour chacun d'eux.

Voici la procédure à suivre.

1 - Mesurer la longueur de tous les outils par rapport à un point de référence sur le porte-outil ou sur l'appareil de mesure.

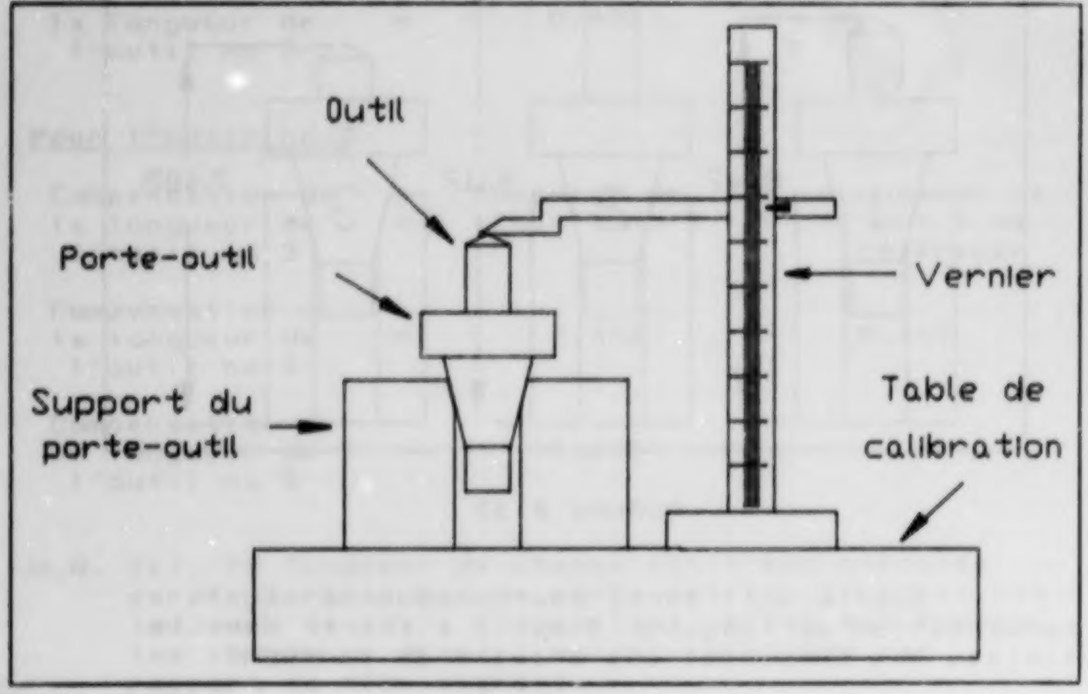


FIGURE 8.32

2 - Calculer la compensation de chaque outil à l'aide de la formule suivante.

Compensation de la longueur de l'outil no X	=	Longueur de l'outil no X	-	Longueur de l'outil de référence

N.B. L'outil de référence est la plupart du temps l'outil no 1 ou l'outil le plus long de la gamme d'outils. À remarquer que l'outil de référence choisi a une valeur nulle comme compensation de longueur d'outil, puisque, en utilisant la formule, nous voyons que la longueur de l'outil moins la longueur du même outil vaut zéro.

3 - Entrer les compensations de longueur d'outil dans le tableau des compensations d'outil de la MOCN.

Exemple: Les 3 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque d'acier. L'outil de référence est le foret no 1.

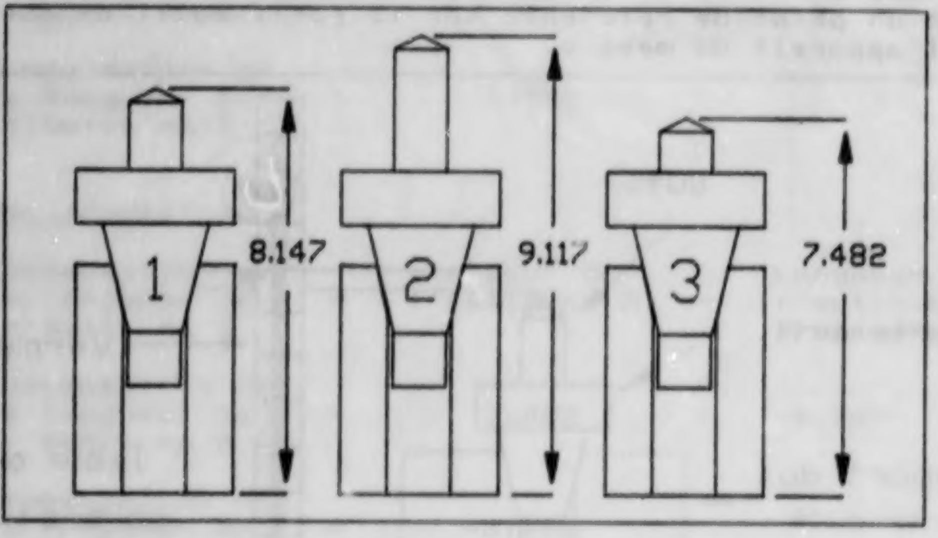


FIGURE 8.33

Quelle doit être, pour chaque outil, la compensation de longueur d'outil à entrer dans le tableau des compensations d'outil de la MOCN?

Solution:

Pour l'outil no 1

Compensation de la longueur de l'outil no 1	=	Longueur de l'outil no 1	-	Longueur de l'outil de référence
Compensation de la longueur de l'outil no 1	=	8.147	-	8.147
Compensation de la longueur de l'outil no 1	=	0.0		

Pour l'outil no 2

Compensation de la longueur de l'outil no 2	=	Longueur de l'outil no 2	-	Longueur de l'outil de référence
Compensation de la longueur de l'outil no 2	=	9.117	-	8.147
Compensation de la longueur de l'outil no 2	=	0.970		

Pour l'outil no 3

Compensation de la longueur de l'outil no 3	=	Longueur de l'outil no 3	-	Longueur de l'outil de référence
Compensation de la longueur de l'outil no 3	=	7.482	-	8.147
Compensation de la longueur de l'outil no 3	=	-0.665		

N.B. Ici, la longueur de chaque outil est calculée par rapport au bas du porte-outil. Ce n'est pas toujours le cas. L'important, c'est que toutes les longueurs d'outil soient calculées par rapport au même endroit.

8.3 LES COMPENSATIONS DU DIAMÈTRE D'OUTIL

Pour construire un programme pièce, il faut d'abord trouver les coordonnées de la pièce finie. Les outils utilisés ont tous un certain diamètre. Il faut donc, pour programmer un déplacement du centre de l'outil, calculer les coordonnées de ce centre d'outil.

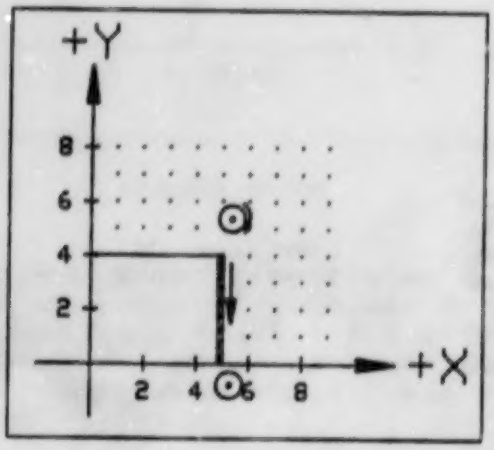


FIGURE 8.34

À la figure 8.34, une fraise de 1 pouce de diamètre est utilisée pour ébaucher une plaque de métal, soit de raccourcir la plaque à 4.8 pouces de longueur. Notez bien que le cercle avec un point au centre représente l'outil vu de derrière la broche.

La pièce brute est positionnée sur la table de la fraiseuse et elle atteint la cote X=5.0 pouces. La zone de la pièce qui est hachurée représente la portion de la pièce à enlever par usinage. Après usinage, la pièce atteindra la cote X=4.8 pouces.

Un programme pièce du déplacement du centre de l'outil donne comme valeur de la coordonnée X, 5.3 pouces (4.8 + d/2 = 4.8 + 1/2 = 5.3). Un tel programme tient compte du diamètre de l'outil utilisé, puisque la coordonnée X programmée est la coordonnée de la pièce usinée plus une compensation d'une valeur d'un rayon (ou d'un demi-diamètre) de l'outil.

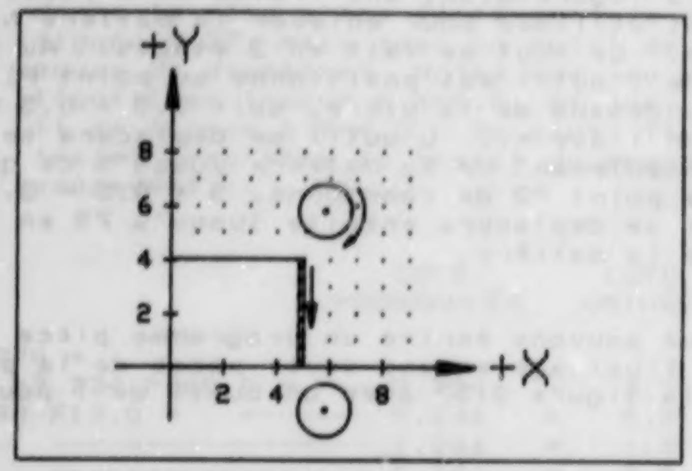


FIGURE 8.35

Si la fraise avait 2 pouces de diamètre, il faudrait programmer comme coordonnées X du centre de l'outil, 5.8 pouces (4.8 + d/2 = 4.8 + 2/2 = 5.8). La position du centre de l'outil est donc décalée de 1 rayon ou de 1/2 diamètre de l'outil par rapport à la surface usinée de la pièce.

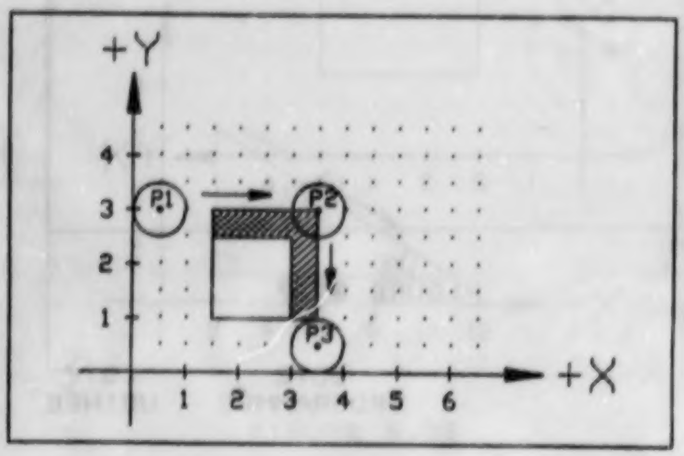


FIGURE 8.36

Compensations d'outil pour une fraiseuse

À la figure 8.36, une fraise de 1 pouce de diamètre est utilisée pour enlever la matière hachurée d'une pièce. Le tout se fait en 2 étapes. Au départ, le centre de l'outil est positionné au point P1, à 1/2 diamètre au-dessus de la pièce, soit 2.5 + 0.5 = 3.0 pouces selon l'axe +Y. L'outil se déplacera selon l'axe +X en enlevant de la matière jusqu'à ce qu'il atteigne le point P2 de coordonnée 3 + 0.5 = 3.5 pouces. Il se déplacera ensuite jusqu'à P3 en enlevant de la matière.

Nous pouvons écrire un programme pièce provoquant l'usinage en une seule passe de la pièce montrée à la figure 8.37 avec un outil de 1 pouce de diamètre.

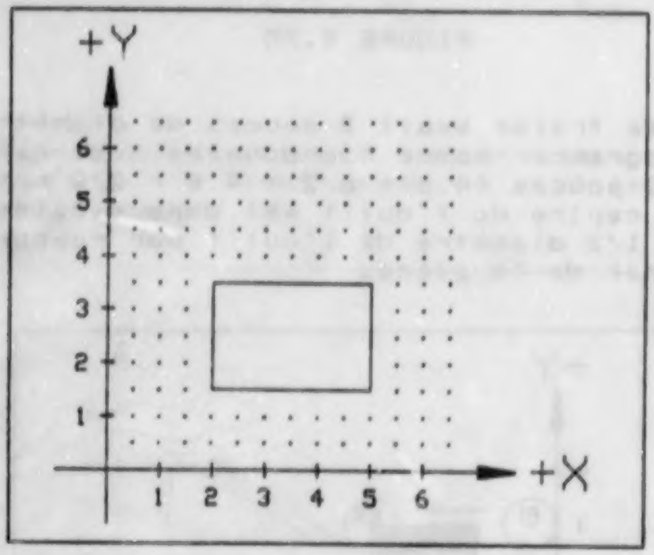


FIGURE 8.37

	COTE PROGRAMMÉE		COTE USINÉE		(d/2)
G90 G17 G70 *					
G01 X1.0 Y4.0 F400.0 * ---	4.0	=	3.5	+	0.5
G01 X5.5 F10.0 * ----------	5.5	=	5.0	+	0.5
Y1.0 * -------------------	1.0	=	1.5	-	0.5
X1.5 * -------------------	1.5	=	2.0	-	0.5
Y4.0 *					
M30 *					

Exemple: Pouvez-vous écrire un programme pièce qui donne la même pièce finie montrée à la figure 8.37, mais avec un outil de 0.468 pouce de diamètre? Notez que, au départ, l'outil se trouve à X=1.0, et que, à la fin, il se trouve à Y=4.0. De plus, il suit un trajet semblable au trajet du programme précédent.

	COTE PROGRAMMÉE		COTE USINÉE		(d/2)
G90 G17 G70 *					
G01 X1.0 Y3.734 F400.0 * -	3.734	=	3.5	+	0.234
G01 X5.234 F10.0 * -------	5.234	=	5.0	+	0.234
Y1.266 * ----------------	1.266	=	1.5	-	0.234
X1.766 * ----------------	1.766	=	2.0	-	0.234
Y4.0 *					
M30 *					

La surface des pièces à usiner n'est pas toujours parallèle aux axes, comme on peut le constater à la figure 8.38.

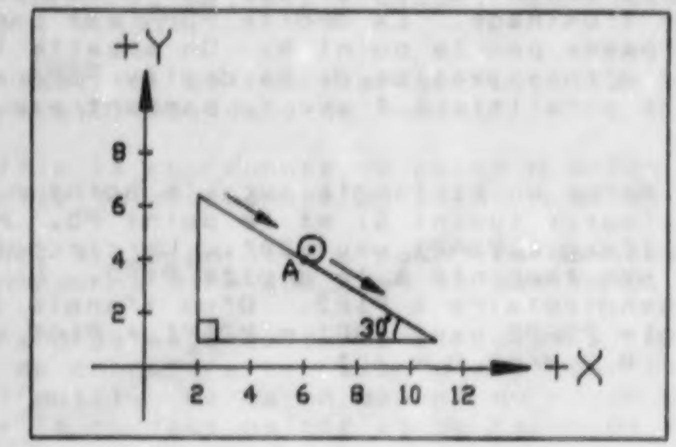


FIGURE 8.38

Trouvons la position du centre de l'outil si les coordonnées du point A, appartenant à la surface usinée et à la circonférence de l'outil, sont (6,4) et que l'angle formé par la trace de l'outil avec l'axe X est de 30°. Le diamètre de l'outil est de 1 pouce.

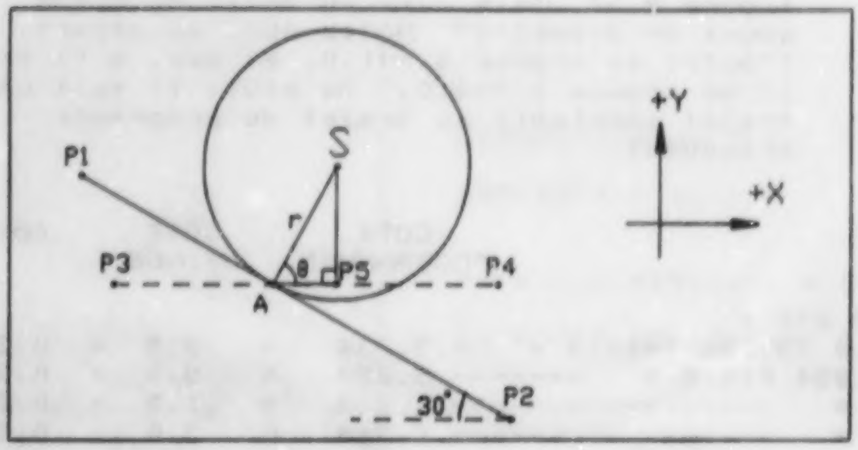
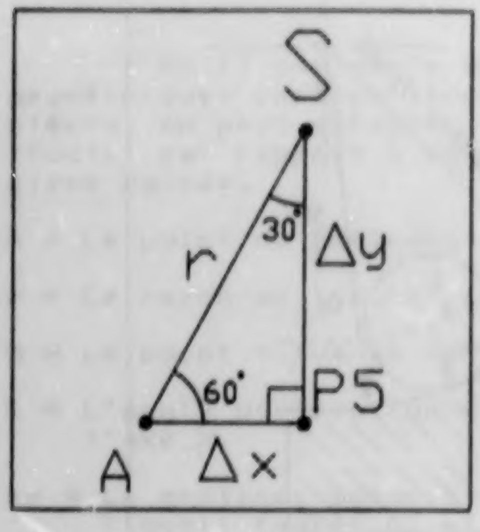


FIGURE 8.39

On appelle le point S, le point situé au centre de l'outil. On appelle le point P1, un point appartenant à la surface déjà usinée et le point P2, un point appartenant à la surface qui n'est pas encore générée par l'usinage. La droite $\overline{P3P4}$ est parallèle à l'axe X et passe par le point A. On appelle le point P5 le point d'intersection de la droite $\overline{P3P4}$ avec une autre droite parallèle à l'axe Y, passant par le point S.

On forme un rectangle avec le point A, le centre de l'outil (point S) et le point P5. Nous savons que l'angle P3AP1 vaut 30°. La circonférence de l'outil est tangente à la droite $\overline{P1P2}$. La droite AS est perpendiculaire à $\overline{P1P2}$. D'où l'angle SAP1 vaut 90°. L'angle P3AP5 vaut 180° = P3AP1 + P1AS + SAP4 = 30° + 90° + θ , d'où θ = 60°.



$SIN(60°) = \Delta y / r$

$COS(60°) = \Delta x / r$

$\Delta y = r * SIN(60°) = 0.433$

$\Delta x = r * COS(60°) = 0.250$

FIGURE 8.40

La position du centre de l'outil est (XA + Δx , YA + Δy) ou (6.0 + 0.25 , 4.0 + 0.433), soit (6.250 , 4.433).

Il faut ici se familiariser avec la nomenclature utilisée dans ce texte.

XA signifie la coordonnée du point A selon l'axe X.
YA signifie la coordonnée du point A selon l'axe Y.

Donc, si le point H a pour coordonnées (4 , 5), on pourra dire que XH=4 et que YH=5.

Lors d'usinage de forme circulaire, il peut être utile de connaître le rayon décrit par le centre de l'outil. Ce rayon dépend du rayon de courbure de la surface usinée et du rayon de l'outil.

Dans le cas d'usinage concave (creux):

Rayon décrit par le centre de l'outil = Rayon de courbure de la surface usinée − Rayon d'outil

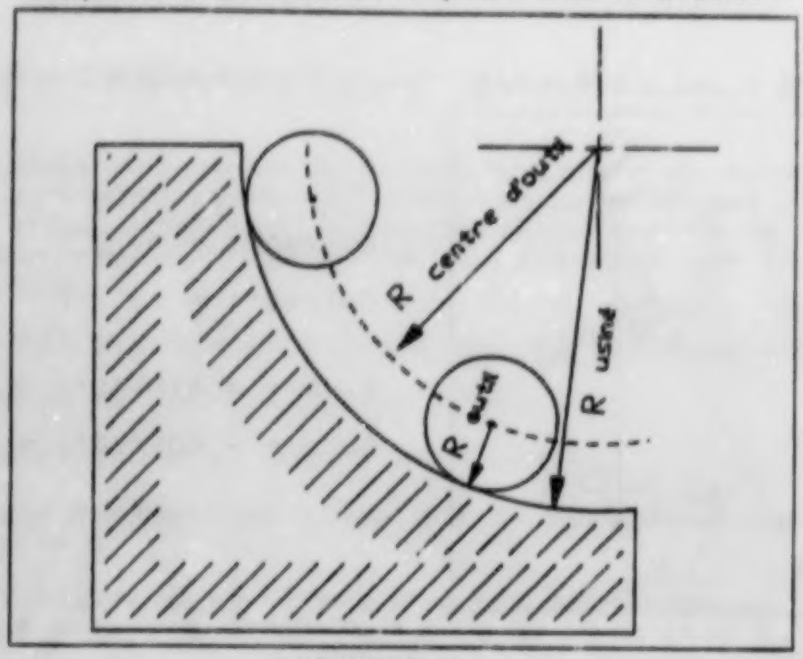


FIGURE 8.41

Dans le cas d'usinage convexe (bombé):

Rayon décrit par le centre de l'outil	=	Rayon de courbure de la surface usinée	+	Rayon d'outil

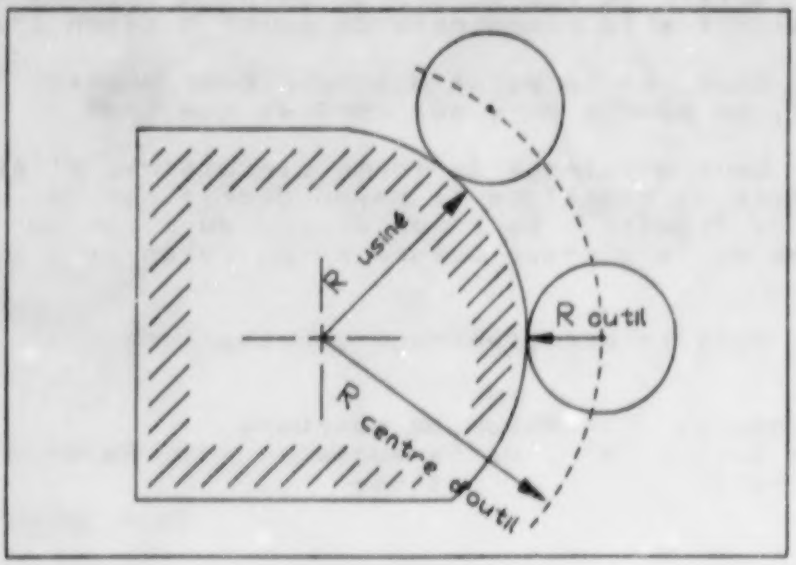


FIGURE 8.42

8.3.1 LES GÉOMÉTRIES PARTICULIÈRES

Voici une série de pièces à usiner de formes géométriques particulières. Pour chacune de ces pièces, on peut calculer la position du centre de l'outil par rapport à un point de référence sur la pièce usinée.

A = Le point de référence situé sur la pièce usinée.

r = Le rayon de l'outil (2 * r = d).

S = Le point situé au centre de l'outil.

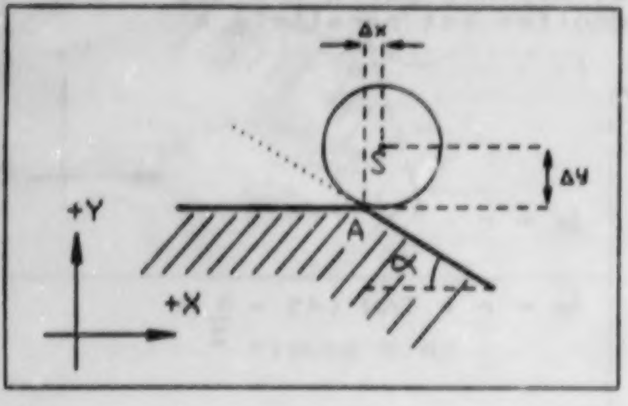
α = L'angle d'élévation d'une droite par rapport à l'axe X.

Δx = La distance selon l'axe X entre le centre de l'outil (point S) et le point de référence A.

Δy = La distance selon l'axe Y entre le centre de l'outil et le point de référence A.

GÉOMÉTRIE 1

La surface usinée est définie par 2 droites qui se coupent. L'une de ces droites est parallèle à l'axe X.

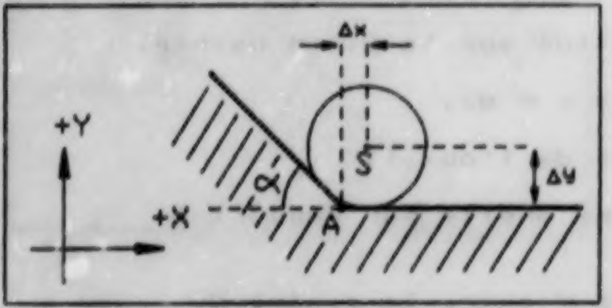


$$\Delta x = r * \text{TAN} \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\Delta y = r$$

FIGURE 8.43

N.B. Les coordonnées du point S sont les coordonnées à inscrire dans le programme pièce si l'on veut que l'outil longeant l'une des 2 droites voie sa trajectoire modifiée pour longer l'autre droite. La périphérie de l'outil est tangente à la fois aux 2 extensions de droites qui définissent la pièce usinée.



$\Delta x = r * TAN\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

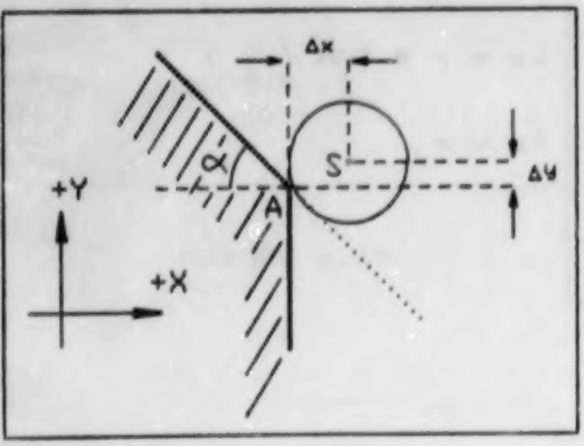
$\Delta y = r$

FIGURE 8.44

N.B. À la figure 8.44, le point A n'est pas usiné. Puisque l'outil est de forme circulaire, il est impossible d'usiner un coin intérieur sans laisser un surplus de matière.

GÉOMÉTRIE 2

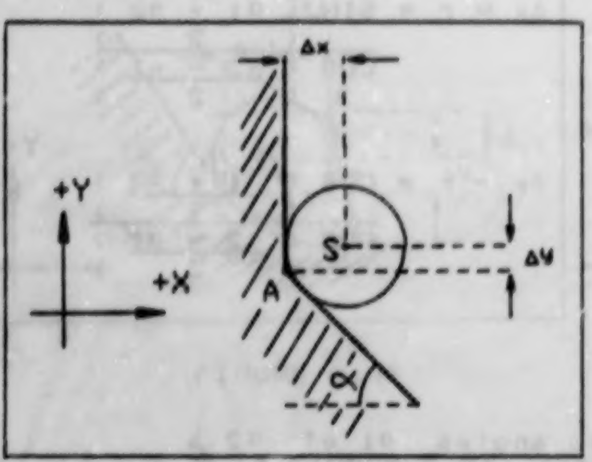
La surface usinée est définie par 2 droites qui se coupent. L'une des droites est parallèle à l'axe Y.



$\Delta x = r$

$\Delta y = r * TAN\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right)$

FIGURE 8.45



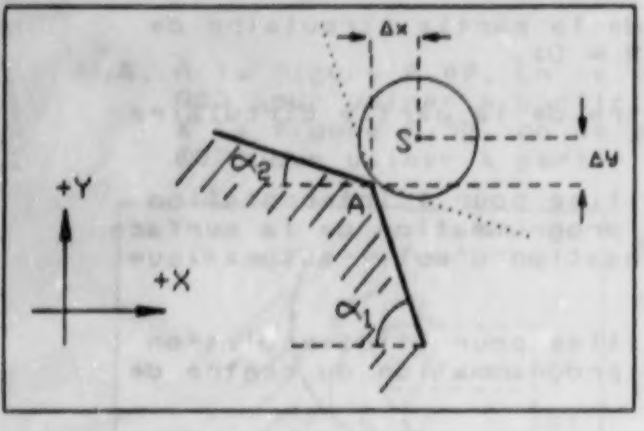
$$\Delta x = r$$

$$\Delta y = r * TAN\left(45 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

FIGURE 8.46

GÉOMÉTRIE 3

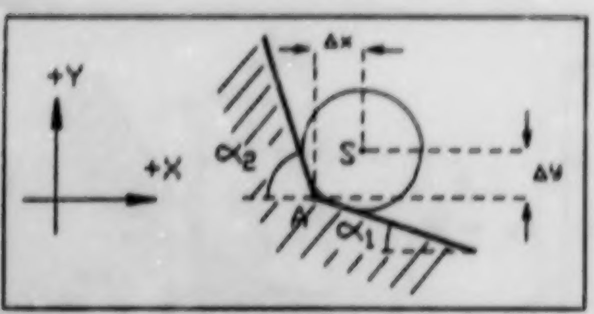
La surface usinée est définie par 2 droites qui se coupent.



$$\Delta x = r * \frac{SIN\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)}{COS\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right)}$$

$$\Delta y = r * \frac{COS\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)}{COS\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2}\right)}$$

FIGURE 8.47



$$\Delta x = r * \frac{SIN\left(\frac{\alpha 1 + \alpha 2}{2}\right)}{COS\left(\frac{\alpha 2 - \alpha 1}{2}\right)}$$

$$\Delta y = r * \frac{COS\left(\frac{\alpha 1 + \alpha 2}{2}\right)}{COS\left(\frac{\alpha 2 - \alpha 1}{2}\right)}$$

FIGURE 8.48

On peut associer les angles $\alpha 1$ et $\alpha 2$ à n'importe quelle des 2 droites, le résultat sera le même.

GÉOMÉTRIE 4

La surface usinée est définie par une droite et un arc de cercle tangents l'un à l'autre. La pièce est concave, c'est-à-dire creuse vers l'intérieur.

R = Le rayon de courbure de la partie circulaire de la pièce usinée (2 * R = D).

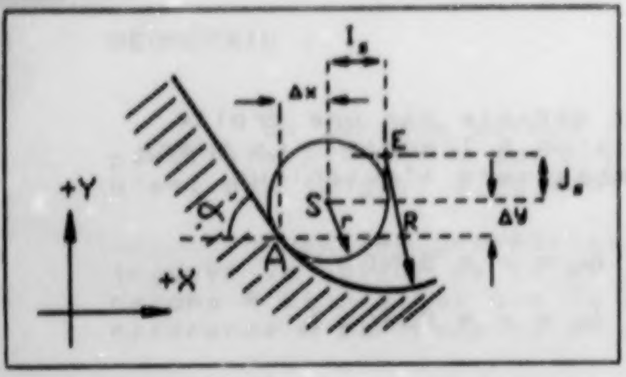
E = Le point situé au centre de la partie circulaire de la pièce usinée.

Ia = La valeur du mot I utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation de la surface usinée avec une compensation d'outil automatique (G41 ou G42).

Is = La valeur du mot I utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation du centre de l'outil (G40).

Ja = La valeur du mot J utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation de la surface usinée avec une compensation d'outil automatique (G41 ou G42).

Js = La valeur du mot J utilisé pour l'interpolation circulaire lors d'une programmation du centre de l'outil (G40).



$\Delta x = r * SIN(\alpha)$

$\Delta y = r * COS(\alpha)$

$Is = (R - r) * SIN(\alpha)$

$Js = (R - r) * COS(\alpha)$

$Ia = R * SIN(\alpha)$

$Ja = R * COS(\alpha)$

FIGURE 8.49

À la figure 8.49, avec Δx et Δy, on trouve la position du point S par rapport au point A. Si l'outil se situe au point A, on peut usiner la partie circulaire en programmant soit...

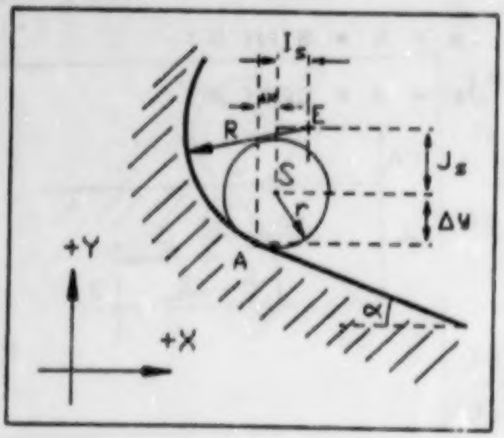
G03 X___ Y___ Is___ Js___

...avec une programmation du centre de l'outil, soit...

G03 X___ Y___ Ia___ Ja___

...avec une compensation d'outil automatique.

N.B. À la figure 8.49, on ne peut qu'utiliser le code G03 pour usiner à partir du point A. Par contre, à la figure 8.50, on ne peut qu'utiliser le code G02 pour usiner à partir du point A.



$\Delta x = r * SIN(\alpha)$

$\Delta y = r * COS(\alpha)$

$Is = (R - r) * SIN(\alpha)$

$Js = (R - r) * COS(\alpha)$

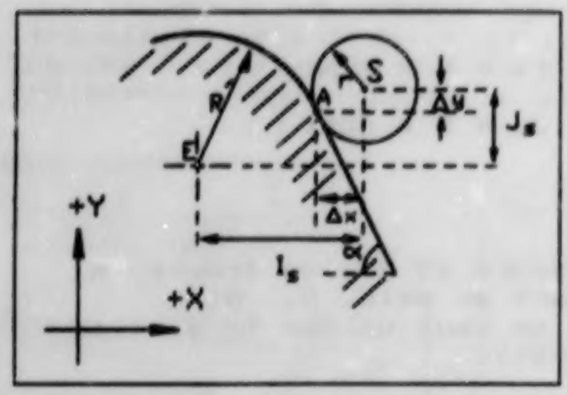
$Ia = R * SIN(\alpha)$

$Ja = R * COS(\alpha)$

FIGURE 8.50

GÉOMÉTRIE 5

La surface usinée est définie par une droite et un arc de cercle tangents l'un à l'autre. La pièce est convexe, c'est-à-dire bombée vers l'extérieur.



Δx = r * SIN(α)

Δy = r * COS(α)

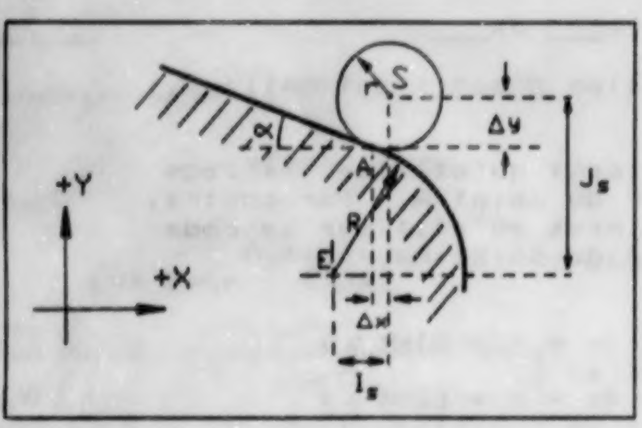
Is = (R + r) * SIN(α)

Js = (R + r) * COS(α)

Ia = R * SIN(α)

Ja = R * COS(α)

FIGURE 8.51



Δx = r * SIN(α)

Δy = r * COS(α)

Is = (R + r) * SIN(α)

Js = (R + r) * COS(α)

Ia = R * SIN(α)

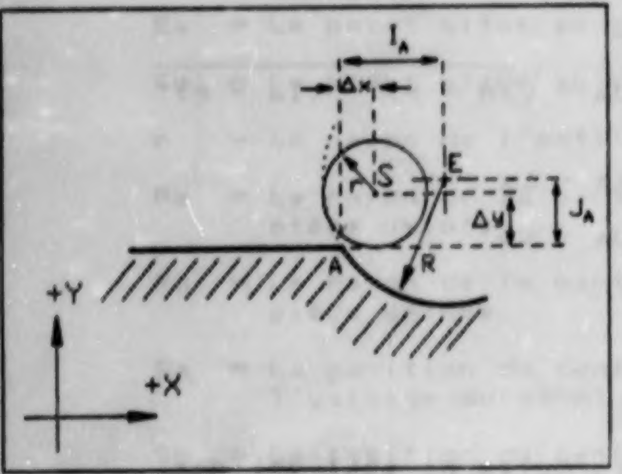
Ja = R * COS(α)

FIGURE 8.52

GÉOMÉTRIE 6

La surface usinée est définie par une droite parallèle à l'axe X qui croise un cercle. Le cercle n'est pas tangent à la droite.

Avec les géométries 6 et 7, si l'on veut trouver la valeur de Δx et Δy, il faut connaître les rayons R et r ainsi que la position du point de référence A par rapport au point E.



Ia = connu

Ja = connu

$$\Delta x = Ia - \sqrt{(R - r)^2 - (Ja - r)^2}$$

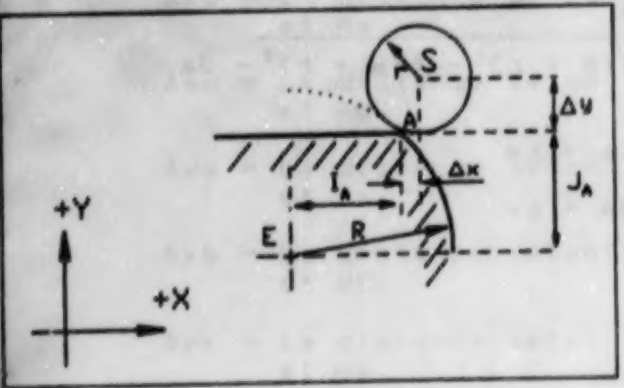
$$\Delta y = r$$

$$Is = Ia - \Delta x$$

$$Js = Ja - \Delta y$$

FIGURE 8.53

À la figure 8.53, <u>les formules ne sont valides</u> que pour $r < Ja$.



Ia = connu

Ja = connu

$$\Delta x = \sqrt{(R + r)^2 - (Ja + r)^2} - Ia$$

$$\Delta y = r$$

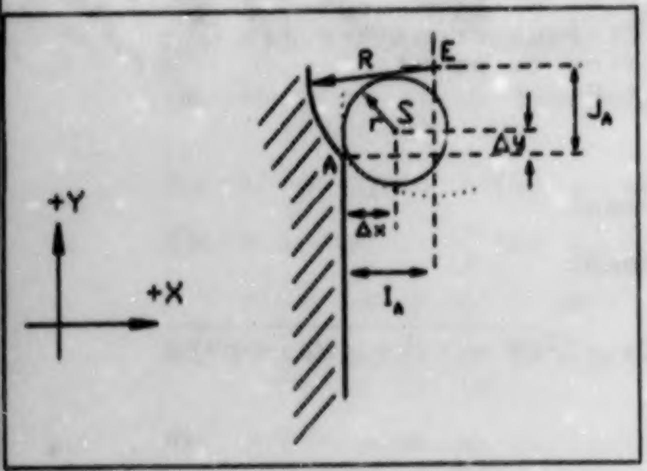
$$Is = Ia + \Delta x$$

$$Js = Ja + \Delta y$$

FIGURE 8.54

GÉOMÉTRIE 7

La surface usinée est définie par une droite parallèle à l'axe Y qui croise un cercle. Le cercle n'est pas tangent à la droite.



Ia = connu

Ja = connu

$\Delta x = r$

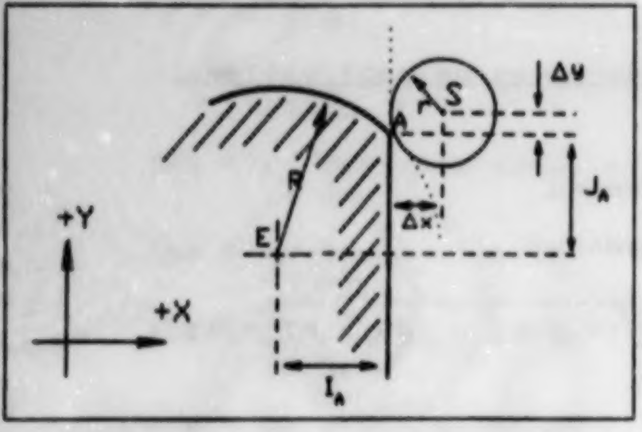
$\Delta y = Ja - \sqrt{(R - r)^2 - (Ia - r)^2}$

$Is = Ia - \Delta x$

$Js = Ja - \Delta y$

FIGURE 8.55

À la figure 8.55, <u>les formules ne sont valides</u> que pour $r < Ia$.



Ia = connu

Ja = connu

$\Delta x = r$

$\Delta y = \sqrt{(R + r)^2 - (Ia + r)^2} - Ja$

$Is = Ia + \Delta x$

$Js = Ja + \Delta y$

FIGURE 8.56

GÉOMÉTRIE 8

La surface usinée est définie par une droite qui joint 2 cercles. La droite est tangente aux 2 cercles.

Aa = Le point de tangence entre la droite et le cercle A.

Ab = Le point de tangence entre la droite et le cercle B.

Ea = Le point situé au centre du cercle A.

Eb = Le point situé au centre du cercle B.

r = Le rayon de l'outil.

Ra = Le rayon de la partie circulaire concave de la pièce usinée.

Rb = Le rayon de la partie circulaire convexe de la pièce usinée.

Sa = La position du centre de l'outil lors de l'usinage du point Aa.

Sb = La position du centre de l'outil lors de l'usinage du point Ab.

Δxa = La distance selon l'axe X entre les points Ea et Sa.

Δxb = La distance selon l'axe X entre les points Eb et Sb.

Δxc = La distance selon l'axe X entre les points Ea et Aa.

Δxd = La distance selon l'axe X entre les points Eb et Ab.

Δya = La distance selon l'axe Y entre les points Ea et Sa.

Δyb = La distance selon l'axe Y entre les points Eb et Sb.

Δyc = La distance selon l'axe Y entre les points Ea et Aa.

Δyd = La distance selon l'axe Y entre les points Eb et Ab.

$\Delta xa = (Ra - r) * SIN(\alpha)$ $\Delta ya = (Ra - r) * COS(\alpha)$

$\Delta xb = (Rb + r) * SIN(\alpha)$ $\Delta yb = (Rb + r) * COS(\alpha)$

$\Delta xc = Ra * SIN(\alpha)$ $\Delta yc = Ra * COS(\alpha)$

$\Delta xd = Rb * SIN(\alpha)$ $\Delta yd = Rb * COS(\alpha)$

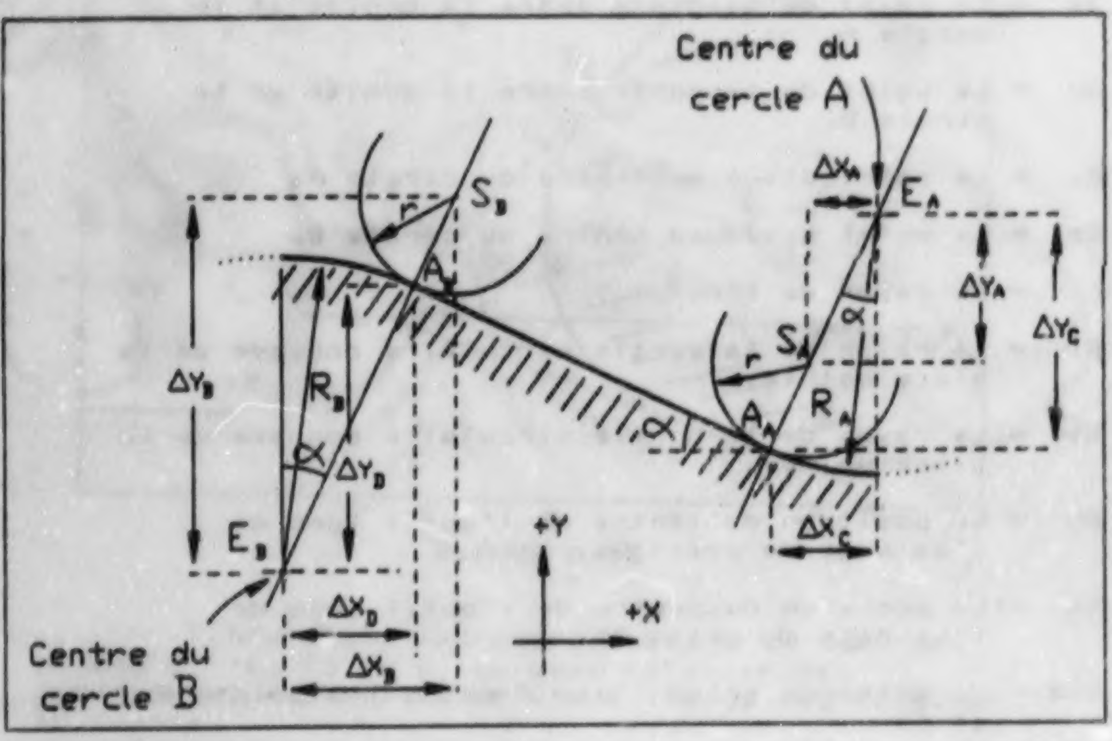


FIGURE 8.57

GÉOMÉTRIE 9

La surface usinée est définie par 2 droites qui se coupent et un cercle de rayon R tangent aux 2 droites.

B = Le point d'intersection entre la droite $\overline{AE}$ et le cercle.

T1 = Le point de tangence supérieur entre le cercle et l'une des 2 droites.

T2 = Le point de tangence inférieur entre le cercle et l'une des 2 droites.

α = L'angle d'élévation de la droite $\overline{AT1}$ par rapport à l'axe X.

θ = L'angle entre les 2 droites.

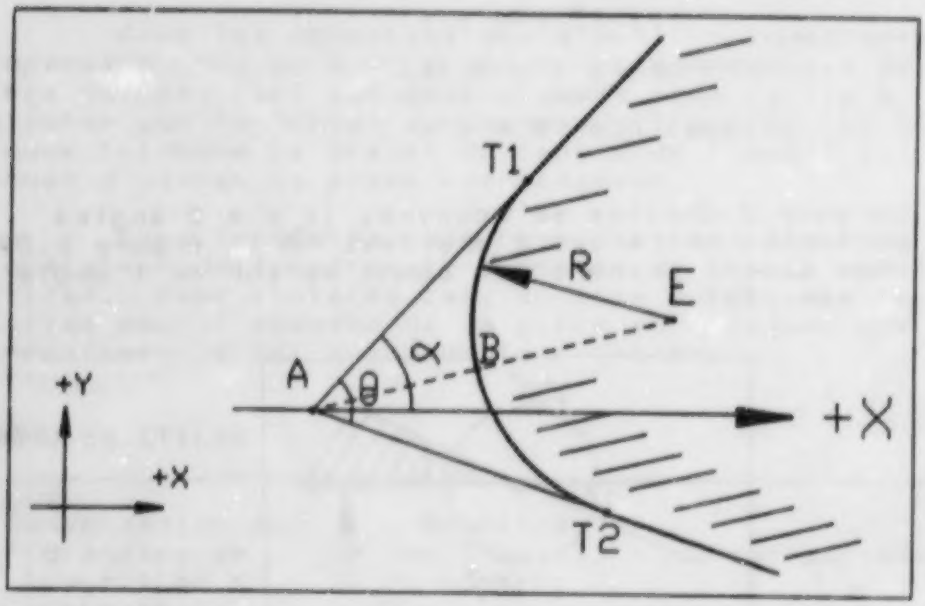


FIGURE 8.58

Connaissant les coordonnées d'un seul des points E, T1, T2 ou B, on peut calculer les coordonnées des autres points à l'aide des formules suivantes.

$$XE - XA = R * \frac{COS(\alpha - \theta / 2)}{SIN(\theta / 2)}$$

$$YE - YA = R * \frac{SIN(\alpha - \theta / 2)}{SIN(\theta / 2)}$$

$$XE - XT1 = R * SIN\ \alpha$$

$$YE - YT1 = - R * COS\ \alpha$$

$$XE - XT2 = R * SIN(\theta - \alpha)$$

$$YE - YT2 = R * COS(\theta - \alpha)$$

$$XB - XA = \left(\frac{R}{SIN(\theta / 2)} - R \right) * COS(\alpha - \theta / 2)$$

$$YB - YA = \left(\frac{R}{SIN(\theta / 2)} - R \right) * SIN(\alpha - \theta / 2)$$

Les formules précédentes sont valides pour...

$0° < \alpha < 90°$

...et pour...

$\alpha < \theta < \alpha + 180°$

...sauf pour $\theta = 0°$.

N.B. Lorsque 2 droites se coupent, il y a 2 angles possibles entre ces 2 droites. À la figure 8.59, nous devons prendre 30° comme valeur de l'angle θ et non 150°.

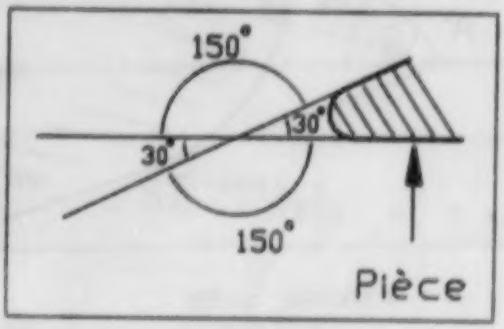


FIGURE 8.59

8.4 LES COMPENSATIONS AUTOMATIQUES DU DIAMÈTRE D'OUTIL

Avec les compensations d'outil automatiques, l'opérateur n'a qu'à programmer les coordonnées de la pièce usinée; ceci est généralement plus facile à calculer que le trajet du centre de l'outil. Le DCN trouve lui-même le trajet du centre de l'outil qui permet d'usiner la pièce correctement.

Dans le tableau des compensations d'outil, l'opérateur doit entrer le diamètre de chaque outil utilisé. Dans certains cas, un même outil est utilisé pour l'ébauche de la pièce en laissant une surépaisseur ainsi que pour la finition.

FORMULES UTILES

Compensation du diamètre de l'outil no X (ébauche)	=	Diamètre de l'outil no X	+	2 surépaisseurs
Compensation du diamètre de l'outil no X (finition)	=	Diamètre de l'outil no X		

Exemple: Un outil de 8 millimètres de diamètre est utilisé pour l'ébauche et la finition d'une pièce. Une surépaisseur de 0.35 millimètre est laissée lors de l'ébauche et la finition enlève ce 0.35 millimètre. Quelle est la valeur des 2 compensations de diamètre d'outil à entrer dans le tableau des compensations?

Solution:

Compensation du diamètre de l'outil no X (ébauche) = 8.0 + 2 x 0.35 = 8.7 millimètres

Compensation du diamètre de l'outil no X (finition) = 8.0 millimètres

CHAPITRE 8

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UNE FRAISEUSE À CN

TRAVAUX

---

1 - Les 4 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

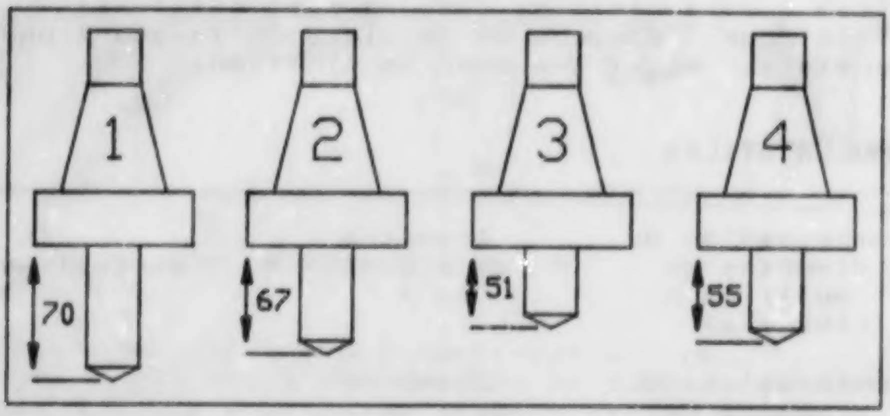


FIGURE 8.A

En programmant Zp=12.0, avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=-7.0.

On veut positionner la pointe...

...du foret no 1 au niveau Zb = +8.0.
...du foret no 2 au niveau Zb = -2.0.
...du foret no 3 au niveau Zb = -9.0.
...du foret no 4 au niveau Zb = +14.0.

Quelle doit être alors la cote Zp programmée pour chaque foret?

Utilisez la <u>méthode graphique</u> pour résoudre ce problème.

2 - Reprenez la question no 1, mais en utilisant la <u>méthode mathématique</u>.

3 - Les 6 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

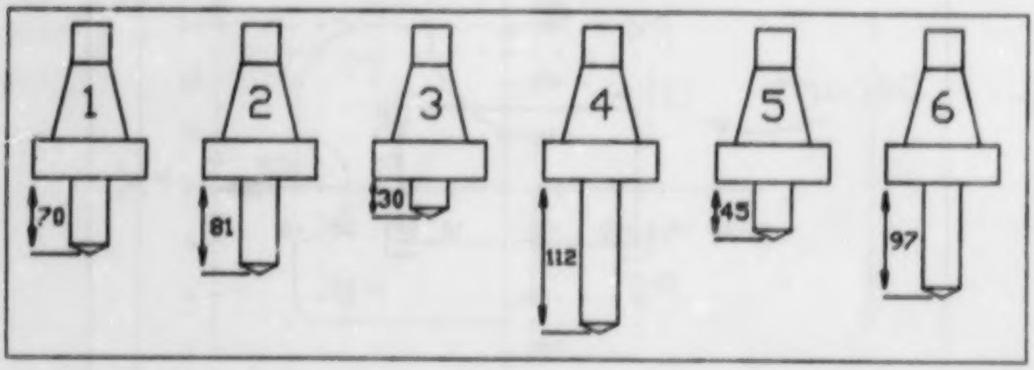


FIGURE 8.B

Trouvez les valeurs des compensations de longueur d'outil à entrer dans le tableau des compensations d'outil si la MOCN effectue des compensations d'outil automatiques.

4 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P4 à programmer. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 12 millimètres. Le rectangle représente la pièce usinée.

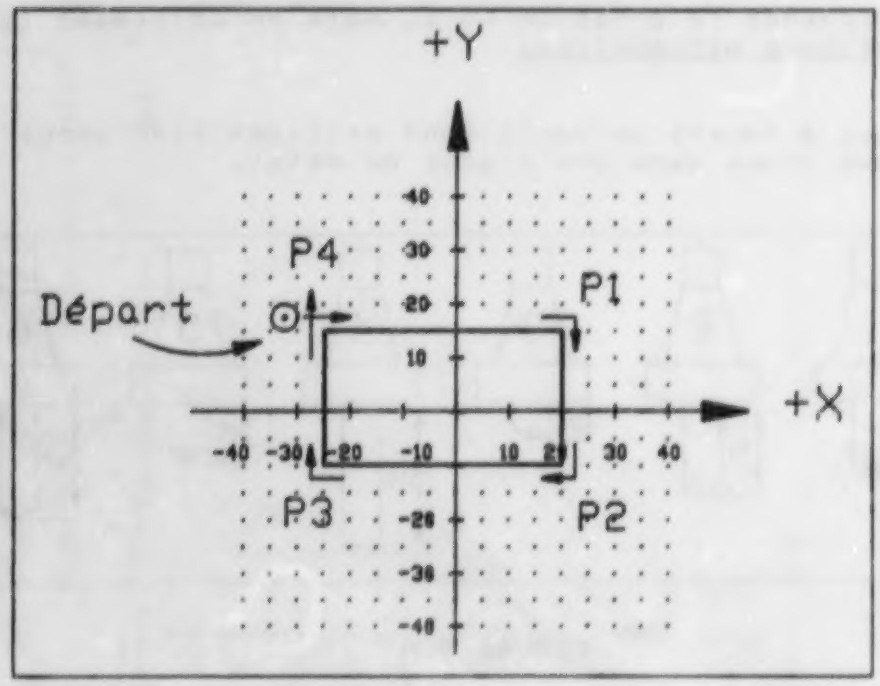


FIGURE 8.C

5 - Trouvez, pour les 5 arcs de cercle, le rayon à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 2.8 unités.

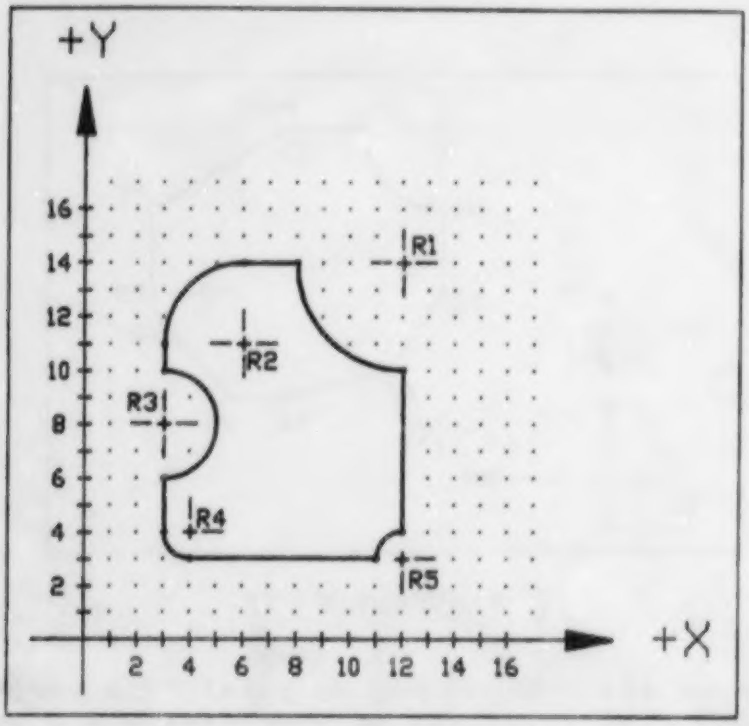


FIGURE 8.D

6 - Trouvez, pour les 5 arcs de cercle, le rayon à programmer (voir Figure 8.D). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 2.8 unités.

7 - Pour chacun des points P1 à P10 de la figure 8.E ci-dessous, trouvez la géométrie et la figure qui y correspond le plus. Vous trouverez les géométries et les figures dans vos notes de cours à la section 8.3.1. N'effectuez pas de calculs, trouvez seulement le numéro de la figure correspondante. S'il y a un changement d'axe à effectuer, indiquez-le dans vos résultats.

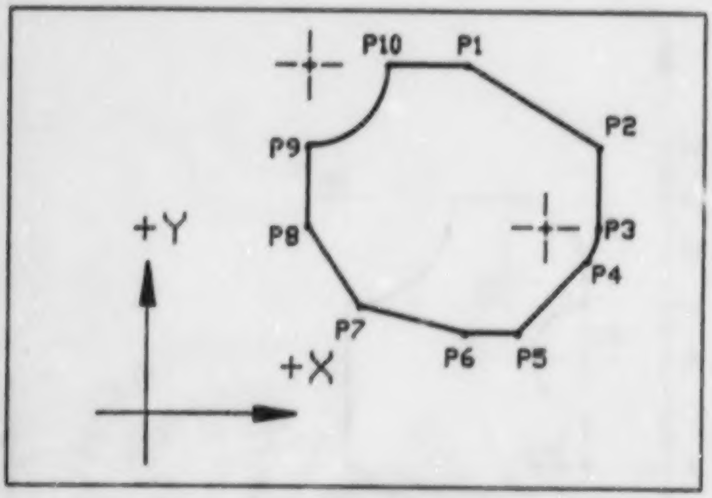


FIGURE 8.E

8 - Trouvez les coordonnées du point P1 à programmer. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.714 pouce.

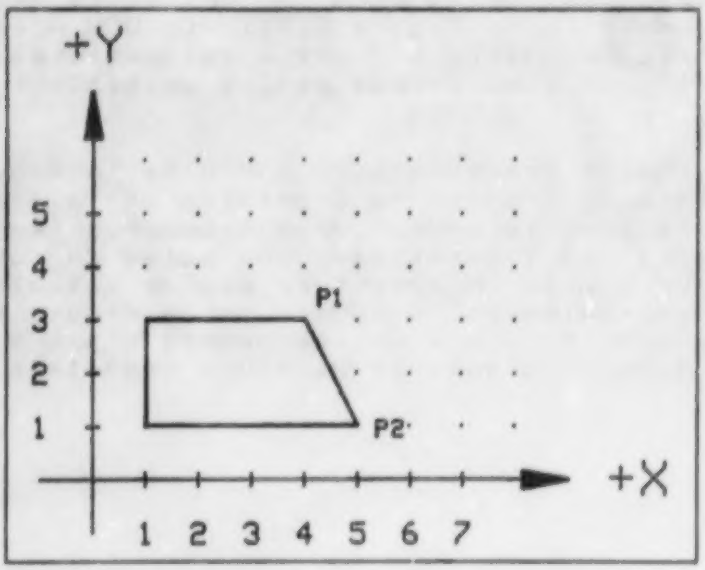


FIGURE 8.F

9 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P12 à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques.

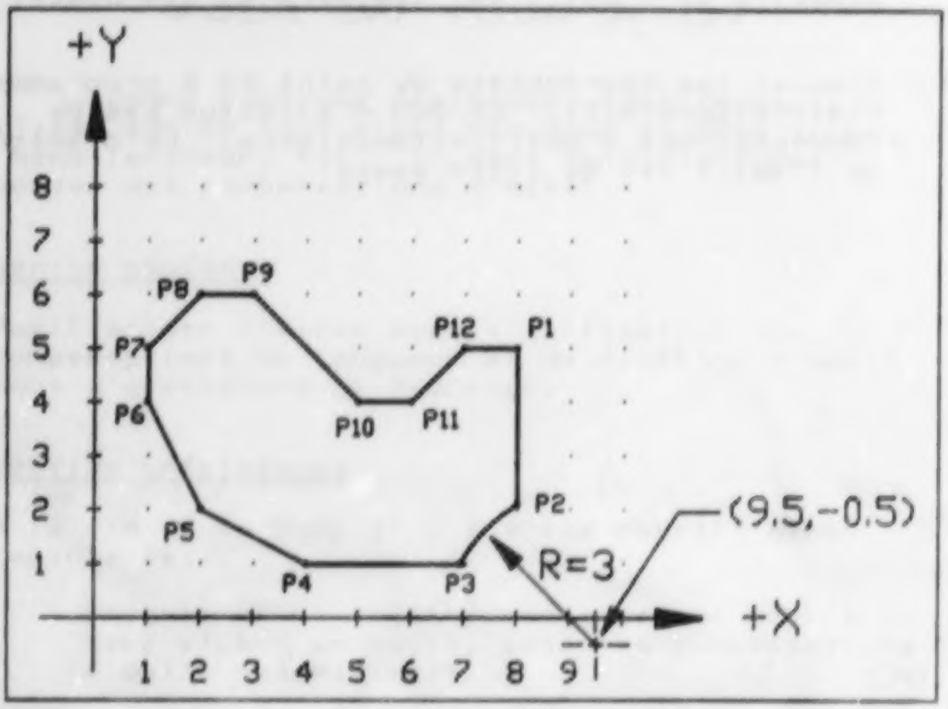


FIGURE 8.G

10 - Écrivez le programme pièce permettant de contourner la pièce montrée à la figure 8.G en ne vous servant que des mots G01, G02, G03, G40, G41, G42, X, Y, I et J. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques.

11 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P12 à programmer (voir Figure 8.G). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.4 pouce.

12 - Écrivez le programme pièce permettant de contourner la pièce montrée à la figure 8.G en ne vous servant que des mots G01, G02, G03, G40, G41, G42, X, Y, I et J. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.4 pouce.

13 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P12 à programmmer (voir Figure 8.G). Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques et l'on veut laisser une surépaisseur de 0.02 pouce. Le diamètre de l'outil est toujours de 1.4 pouce.

14 - Trouvez les coordonnées du point P2 à programmer (voir Figure 8.F). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.714 pouce.

--- CHAPITRE 9 ---

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UN TOUR À CN

Comme pour une fraiseuse, tous les outils utilisés par un tour n'ont pas tous la même forme, la même longueur, etc. Il faut continuellement apporter des compensations d'outil.

OBJECTIF GÉNÉRAL

- Familiariser l'élève avec l'utilisation des compensations de longueur et de diamètre d'outil lors d'opérations de tournage.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- À la fin de ce chapitre, l'élève devrait être capable de...

    - programmer et faire fonctionner un tour à CN avec plus d'un outil, sans les compensations d'outil automatiques;

    - mesurer les outils correctement;

    - calculer les compensations de longueur et de largeur d'outil et les insérer dans le tableau des compensations d'outil de la MOCN;

    - programmer et faire fonctionner un tour à CN en utilisant les compensations d'outil automatiques;

    - appliquer les notions théoriques ci-haut mentionnées au matériel présent dans l'atelier.

9.1 LA GÉOMÉTRIE DE L'OUTIL

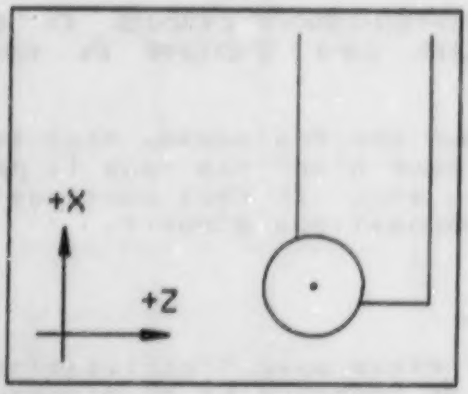


FIGURE 9.1

Les paramètres principaux d'un outil d'un tour sont les suivants.

LA LONGUEUR. Elle est habituellement mesurée par rapport au centre de la tourelle ou par rapport au centre du mandrin.

Cette longueur donne des informations quant à la cote X à introduire dans le tableau des compensations d'outil. Nous, nous utilisons la longueur mesurée par rapport au centre de la tourelle.

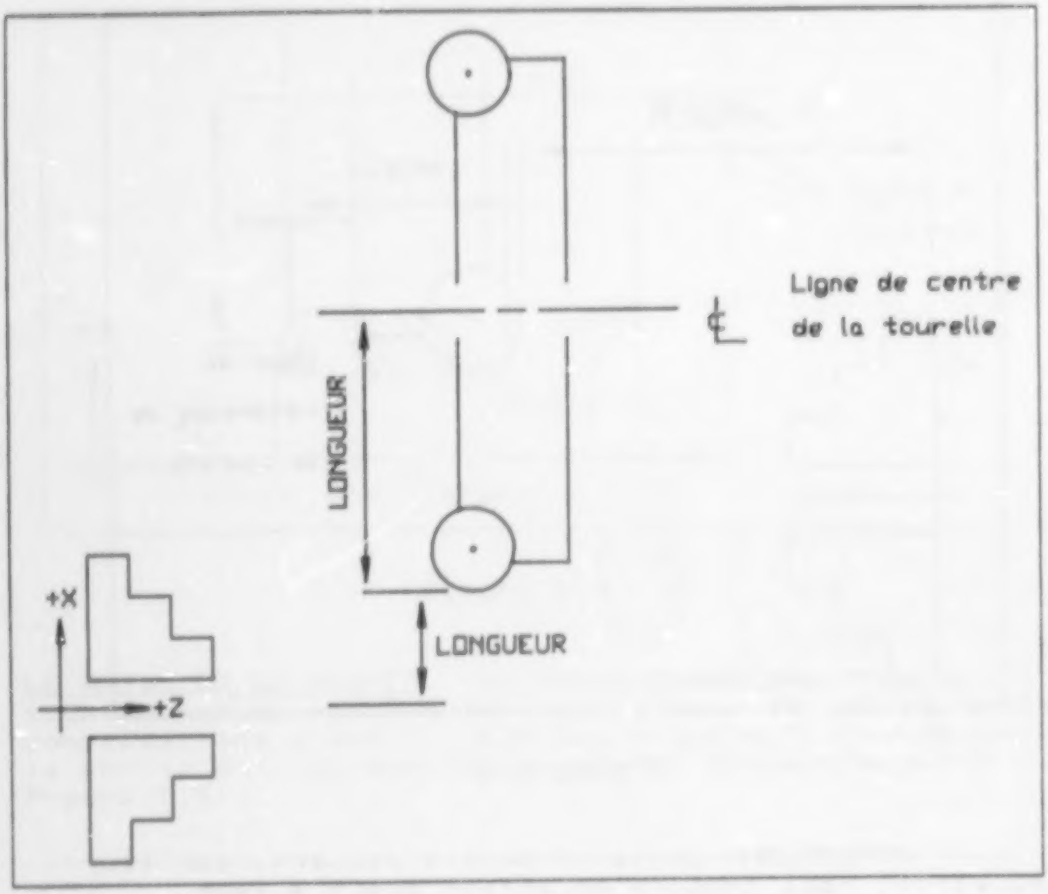


FIGURE 9.2

LA LARGEUR. Elle est habituellement mesurée par rapport à un point de référence de la tourelle ou par rapport à un point de référence du mandrin.

Cette largeur donne des informations quant à la cote Z à introduire dans le tableau des compensations d'outil. Nous, nous utilisons la largeur mesurée par rapport à un point de référence de la tourelle.

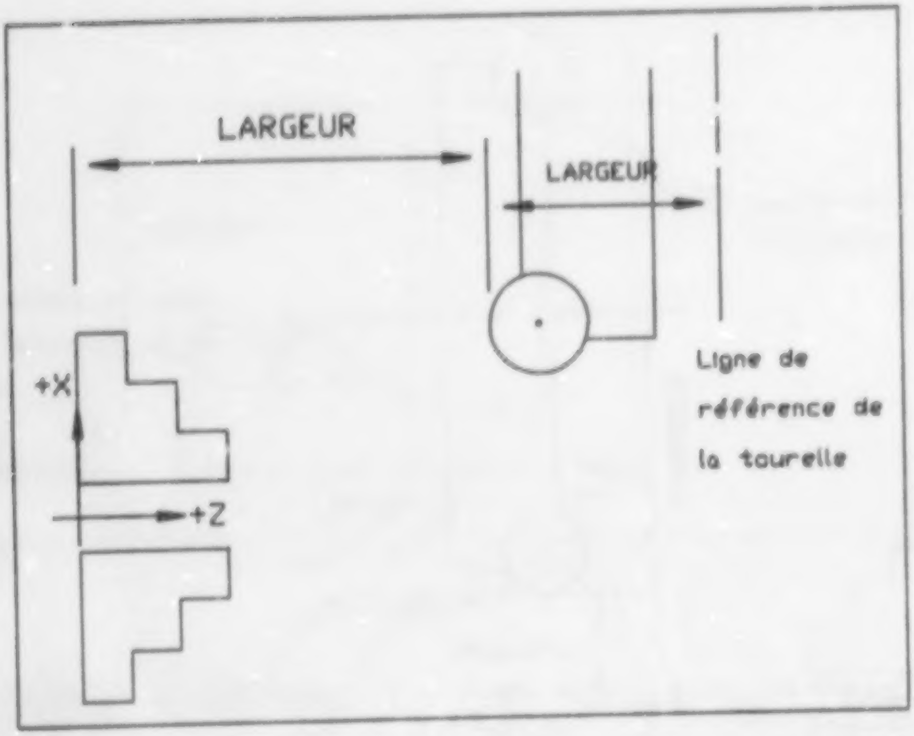


FIGURE 9.3

ATTENTION! certains outils peuvent, par leur géométrie, nous induire en erreur quant à leur longueur et à leur largeur (ex.: le foret). Remarquez bien, à la figure 9.4, comment sont définies la longueur et la largeur du foret à percer par rapport à la tourelle.

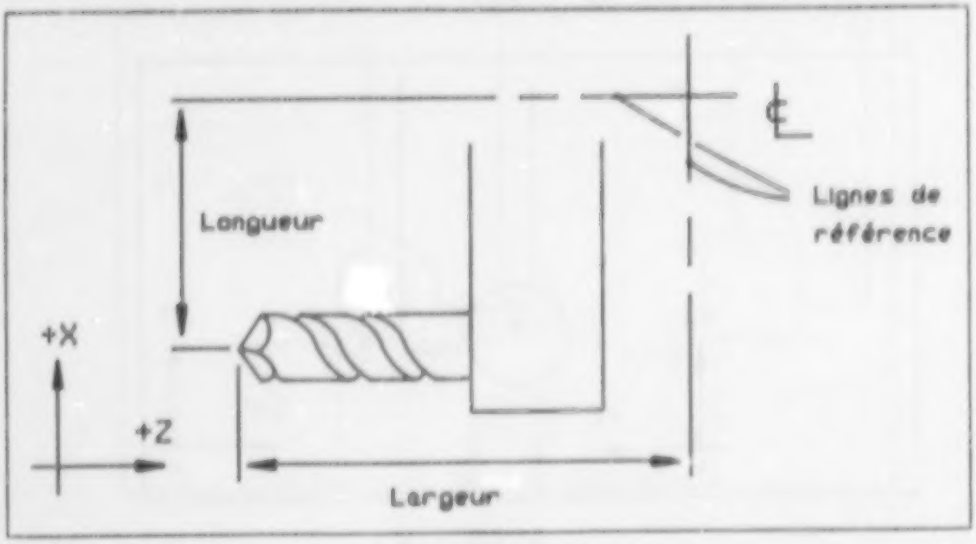


FIGURE 9.4

LE RAYON DE LA POINTE. Ce rayon donne des informations quant au mot R à introduire dans le tableau des compensations d'outil. Sur les figures, le rayon de la pointe est représenté par un "r" minuscule (voir Figure 9.5).

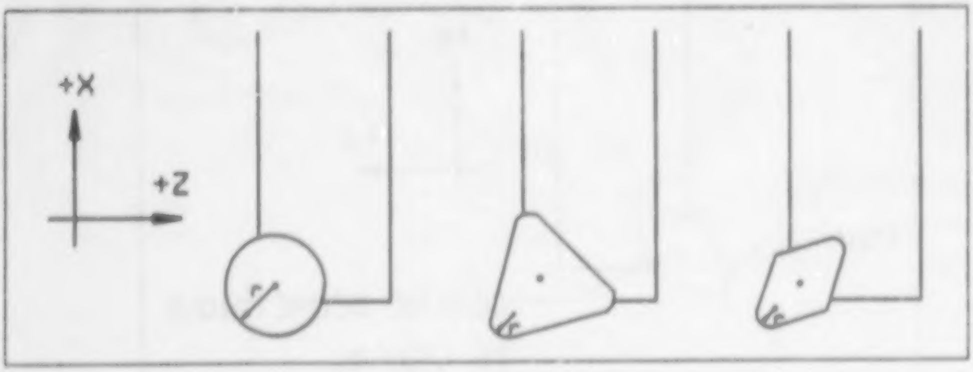


FIGURE 9.5

<u>LE POINT S</u>. Le point S représente le centre de courbure de la pointe de l'outil.

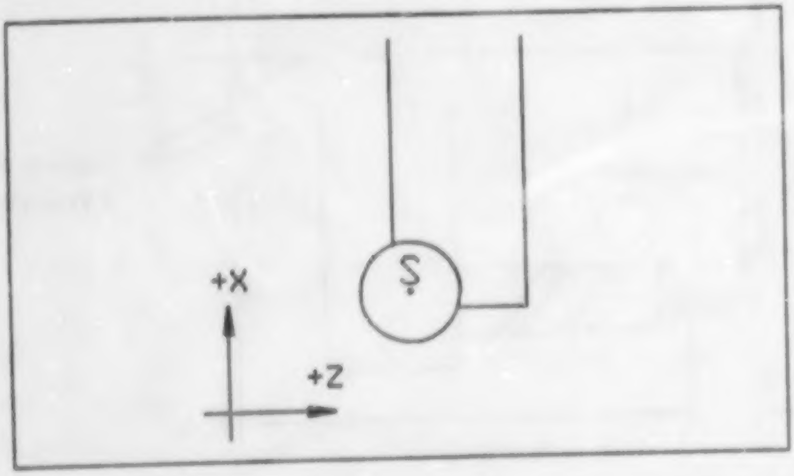


FIGURE 9.6

ATTENTION! il ne faut pas confondre le <u>point S</u> et le <u>centre géométrique</u> de l'outil ou de la plaquette. Ils peuvent être différents. Nous, lorsque nous parlons du centre de l'outil, c'est du point S que nous parlons.

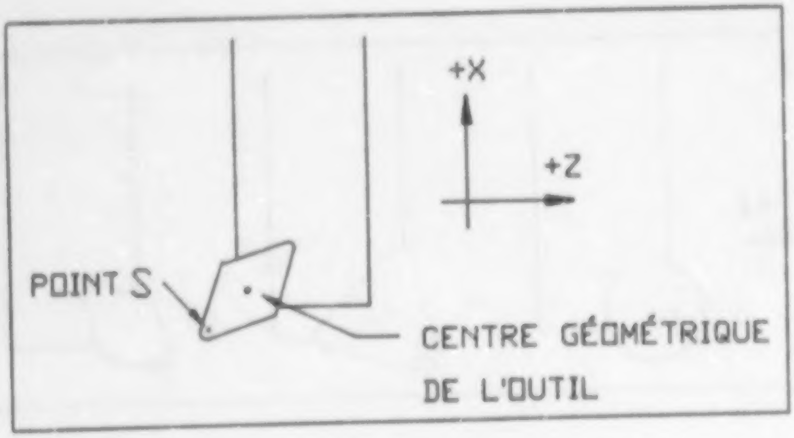


FIGURE 9.7

<u>LE POINT P</u>. Le point P représente le coin d'un outil carré de longueur et de largeur définies. Pour les outils de forme circulaire, le point P devient un point imaginaire puisque ce point n'est pas situé sur l'outil.

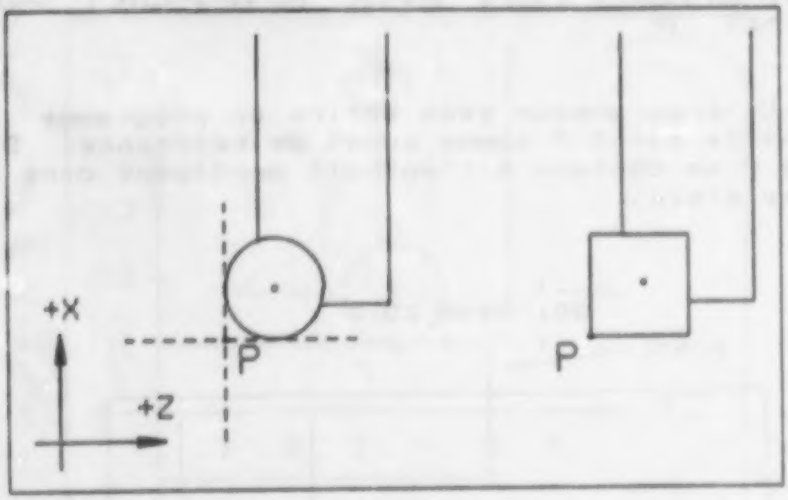


FIGURE 9.8

9.2 COMPENSATION PAR RAPPORT AU POINT P

Un programmeur peut écrire un programme utilisant le point P comme point de référence. Donc, le point P se déplace à l'endroit mentionné dans le programme pièce.

```
    ;
G01 X2.0 Z5.0 ;
    ;
```

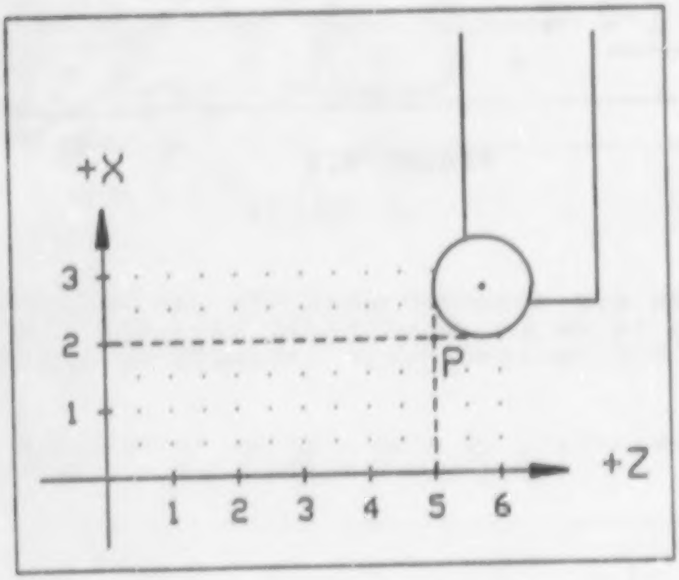


FIGURE 9.9

Pour usiner un cylindre de 1 pouce de rayon, il faut programmer X=1.0.

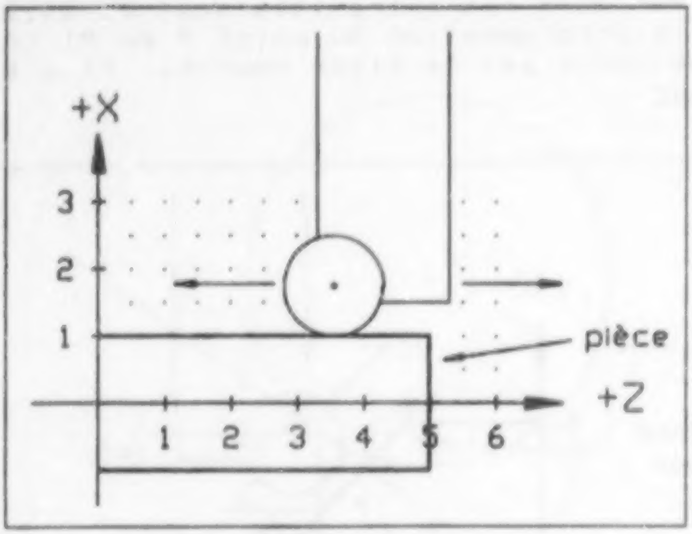


FIGURE 9.10

N.B. On utilise ici une programmation des déplacements selon l'axe X en fonction du rayon et non en fonction du diamètre (voir Section 7.5.5).

Pour usiner un cylindre où l'extrémité est à la cote Z5.0, il faut programmer Z=5.0.

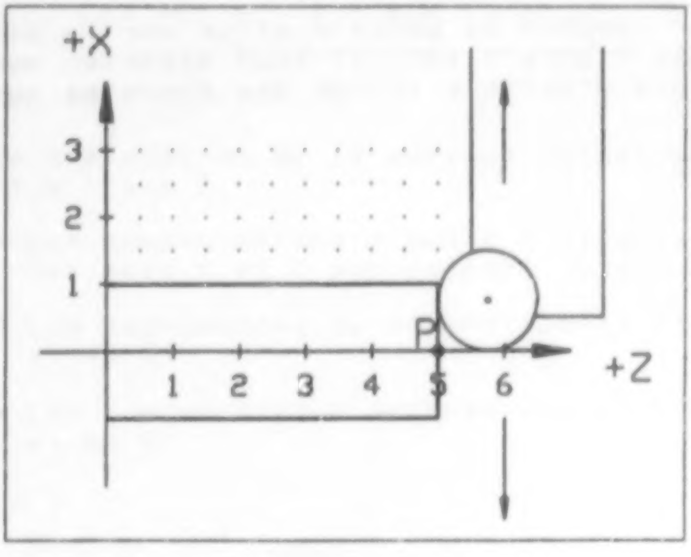


FIGURE 9.11

Pour usiner une pièce ayant une <u>surface conique</u> à 45° dont les extrémités sont P1 (4,2) et P2 (2,4), la programmation du point P en P1 (4,2) et P2 (2,4) ne donne pas la pièce voulue. Il y a une <u>surépaisseur</u>.

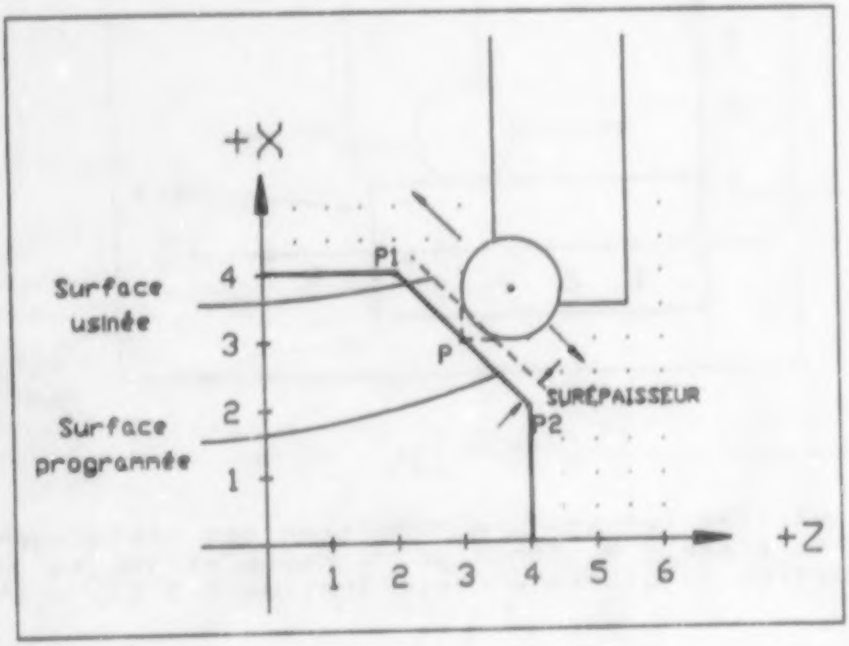


FIGURE 9.12

Par rapport au point A situé sur la pièce usinée (voir Figure 9.13), il faut apporter des compensations d'outil à l'aide des formules suivantes.

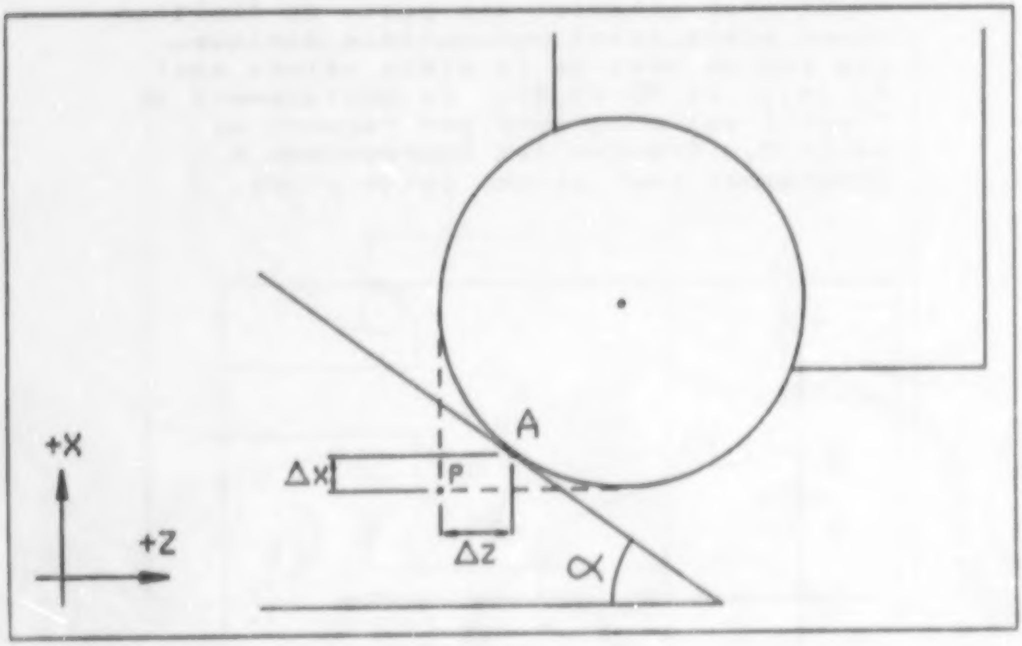


FIGURE 9.13

$$\alpha = \text{ARC TAN} \left(\frac{X1 - X2}{Z2 - Z1} \right)$$

$$\Delta x = r * (1 - \text{COS}(\alpha))$$

$$\Delta z = r * (1 - \text{SIN}(\alpha))$$

r = Le rayon de l'outil.

α = L'angle d'élévation de la surface usinée par rapport à l'axe Z.

Δx et Δz = Les compensations d'outil à apporter selon les axes X et Z par rapport au point P.

X1 et Z1 = Les coordonnées de départ (point P1) en X et en Z.

X2 et Z2 = Les coordonnées d'arrivée (point P2) en X et en Z.

Compensations d'outil pour un tour

Exemple: Un tour utilise un outil de 0.1 pouce de rayon pour exécuter une passe de finition d'une pièce ayant une surface conique. Les coordonnées de la pièce usinée sont P1 (4,3) et P2 (2,8). Le déplacement de l'outil est programmé par rapport au point P. Trouvez les coordonnées à programmer pour usiner cette pièce.

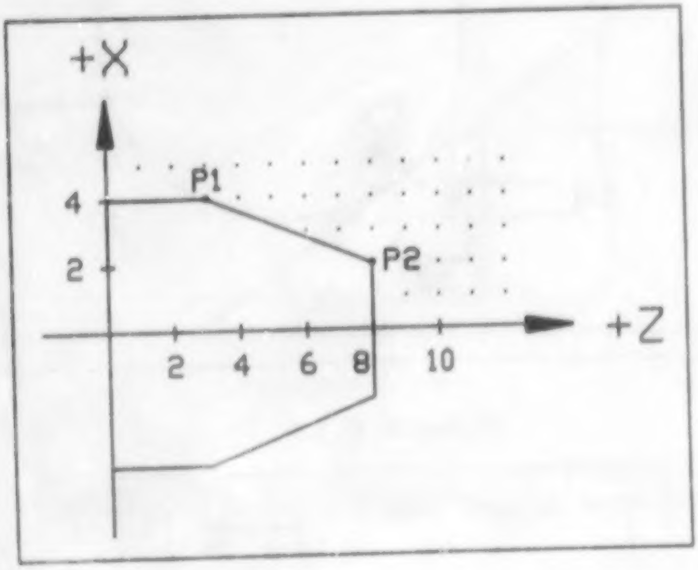


FIGURE 9.14

$$\alpha = \text{ARC TAN} \left(\frac{X1 - X2}{Z2 - Z1} \right) = \text{ARC TAN} \left(\frac{4 - 2}{8 - 3} \right) = 21.80°$$

$$\Delta x = r * (1 - \text{COS} (\alpha)) = 0.0072$$

$$\Delta z = r * (1 - \text{SIN} (\alpha)) = 0.0629$$

D'où les coordonnées du point P pour usiner en P1 sont $(4 - \Delta x , 3 - \Delta z) = (3.9928 , 2.9371)$ et les coordonnées du point P pour usiner en P2 sont $(2 - \Delta x , 8 - \Delta z) = (1.9928 , 7.9371)$.

ATTENTION! dans ce cas-ci, il faut soustraire les valeurs des compensations Δx et Δz aux coordonnées de la surface usinée (ex.: $4 - \Delta x$, $3 - \Delta z$). Dans certains cas, il faut additionner ces valeurs ou bien en additionner une et soustraire l'autre.

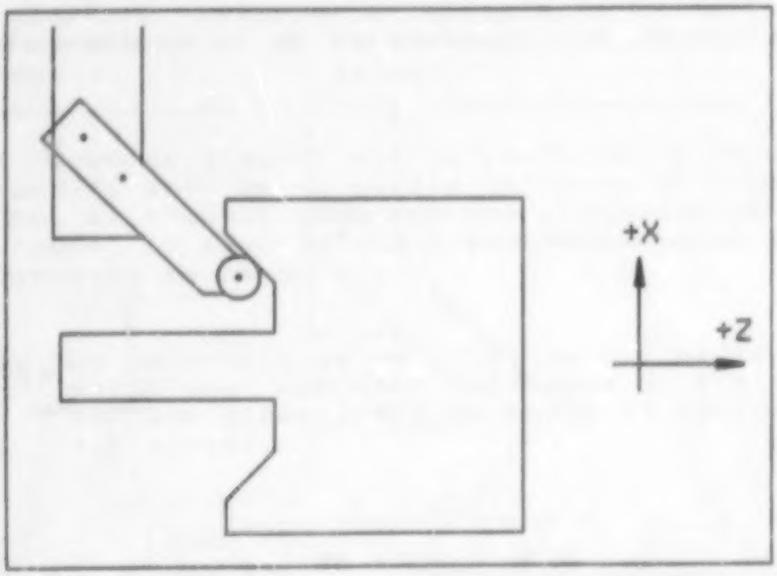


FIGURE 9.15

À la figure 9.15, il faut additionner les valeurs des compensations Δx et Δz aux coordonnées de la surface usinée.

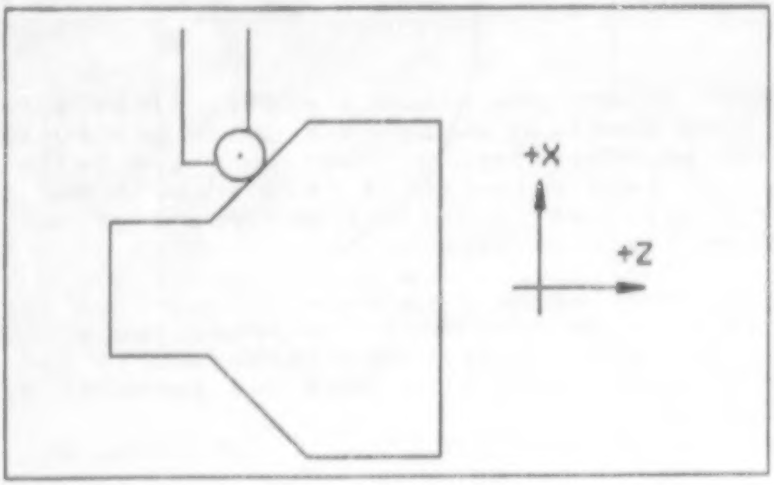


FIGURE 9.16

Compensations d'outil pour un tour

Dans le cas de la géométrie montrée à la figure 9.16, il faut additionner la valeur de la compensation Δz et soustraire la valeur de la compensation Δx aux coordonnées de la surface usinée.

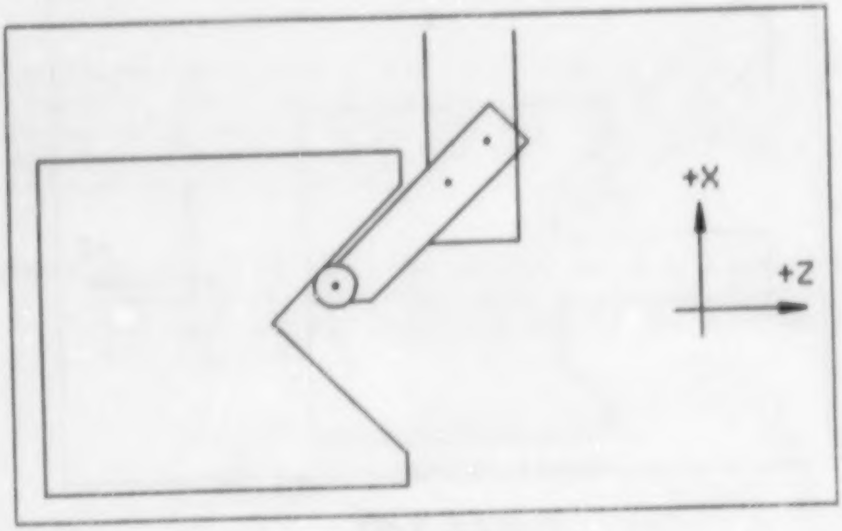


FIGURE 9.17

À la figure 9.17, il faut additionner la valeur de la compensation Δx et soustraire la valeur de la compensation Δz aux coordonnées de la surface usinée.

Pour usiner une pièce à profil circulaire, là aussi la programmation du point P donne une surépaisseur ou une sous-épaisseur. Pour corriger cette situation, il faut calculer le rayon décrit par le centre de l'outil et le point P du départ et de l'arrivée de l'arc de cercle.

Les formules de l'usinage cylindrique nous sont utiles afin de trouver la compensation à apporter. En ce qui a trait au rayon décrit par le centre de l'outil, nous utilisons des formules de la section 8.1 soit:

Dans le cas d'usinage concave:

Rayon décrit par le centre de l'outil = Rayon de courbure de la surface usinée − Rayon d'outil

Dans le cas d'usinage convexe:

Rayon décrit par le centre de l'outil	=	Rayon de courbure de la surface usinée	+	Rayon d'outil

N.B. Le rayon de l'outil est le rayon de la pointe de l'outil, soit de la partie usinante de l'outil. Donc, si l'outil comprend une plaquette de carbure, le rayon d'outil est le rayon de la plaquette de carbure.

Exemple: Un tour utilise un outil de 0.1 pouce de rayon pour exécuter une passe de finition sur une pièce ayant un rayon de courbure de 4.0 pouces.

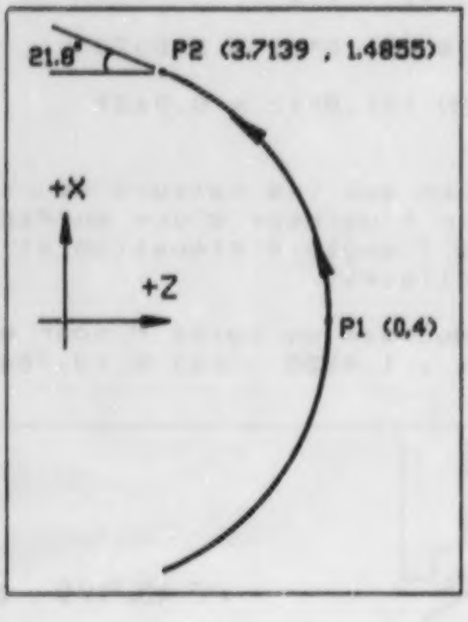


FIGURE 9.18

Au point P1, l'angle d'élévation est de 90°.

$\Delta x = r * (1 - COS (90°)) = 0.1 * (1 - 0) = 0.1$

$\Delta z = r * (1 - SIN (90°)) = 0.1 * (1 - 1) = 0$

Les coordonnées du point P pour usiner en P1 sont $(0 - \Delta x , 4 - \Delta z) = (-0.1 , 4)$.

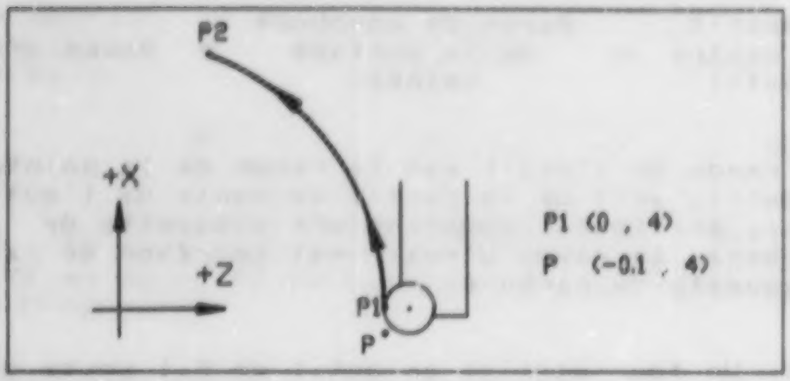


FIGURE 9.19

Au point P2, l'angle d'élévation est de 21.8°.

$\Delta x = r * (1 - COS (21.8°)) = 0.0072$

$\Delta z = r * (1 - SIN (21.8°)) = 0.0629$

À remarquer que les valeurs de Δx et Δz sont les mêmes que pour l'usinage d'une surface conique, dans la mesure où l'angle d'élévation et le rayon de l'outil sont identiques.

Les coordonnées du point P pour usiner en P2 sont (3.7139 - Δx , 1.4855 - Δz) = (3.7067 , 1.4226).

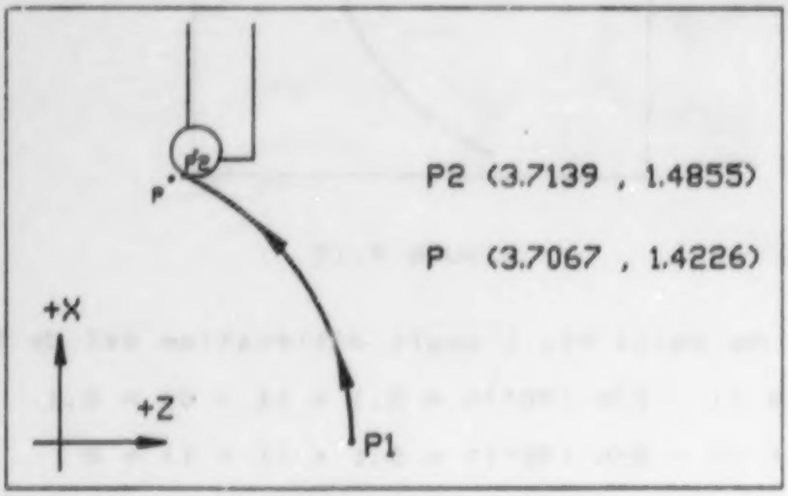


FIGURE 9.20

La surface usinée est convexe donc:

Rayon décrit par le centre de l'outil	=	Rayon de courbure de la surface usinée	+	Rayon d'outil
	=	4	+	0.1

Le rayon décrit par le centre de l'outil = 4.1 pouces. Il faut donc pour que l'outil se déplace du point P1 au point P2 en usinant avec un rayon de 4 pouces programmer:

```
    ;
G01 X-0.1000 Z+4.0000 ;
G03 X+3.7067 Z+1.4226 R4.1 ;
    ;
```

9.3 COMPENSATION PAR RAPPORT AU POINT S

Un programmeur peut écrire un programme utilisant le point S comme point de référence. Ce point S se déplacera à l'endroit mentionné dans le programme pièce.

```
    :
G01 X2.0 Z5.0 ;
    :
```

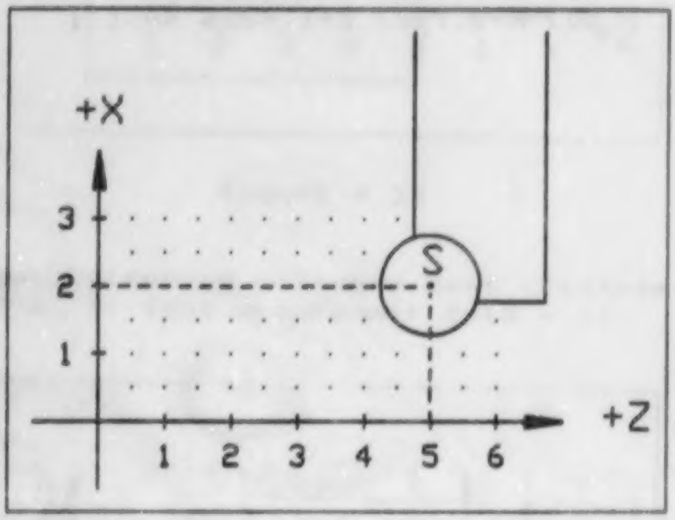


FIGURE 9.21

Pour usiner un cylindre de 1 pouce de rayon, il faut programmer X=(1 + r).

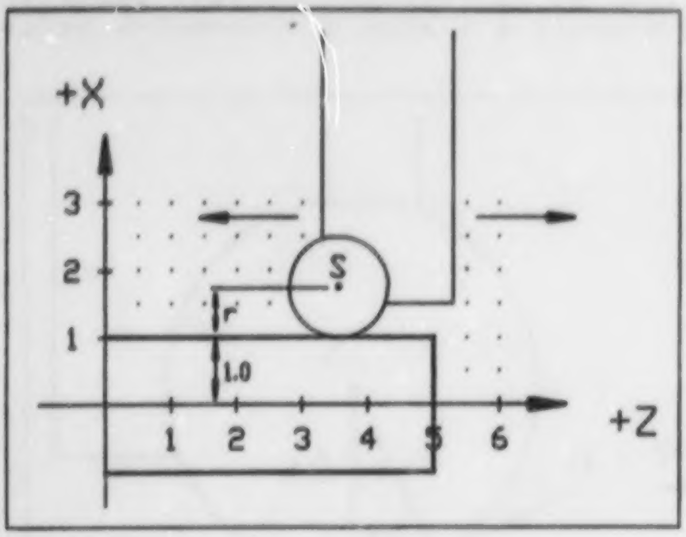


FIGURE 9.22

Pour usiner un cylindre dont l'extrémité est à la cote Z5.0, il faut programmer Z=(5 + r).

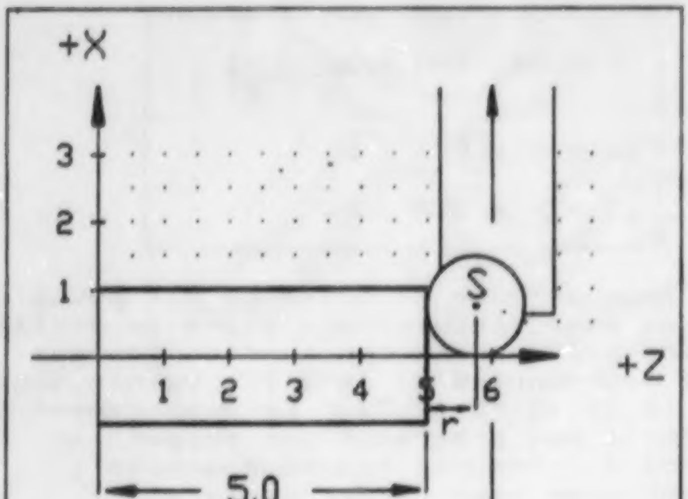


FIGURE 9.23

Compensations d'outil pour un tour

Pour usiner une pièce ayant une <u>surface conique</u> dont les extrémités sont données par les points P1 (X1,Z1) et P2 (X2,Z2), il faut apporter des compensations d'outil à l'aide des formules suivantes.

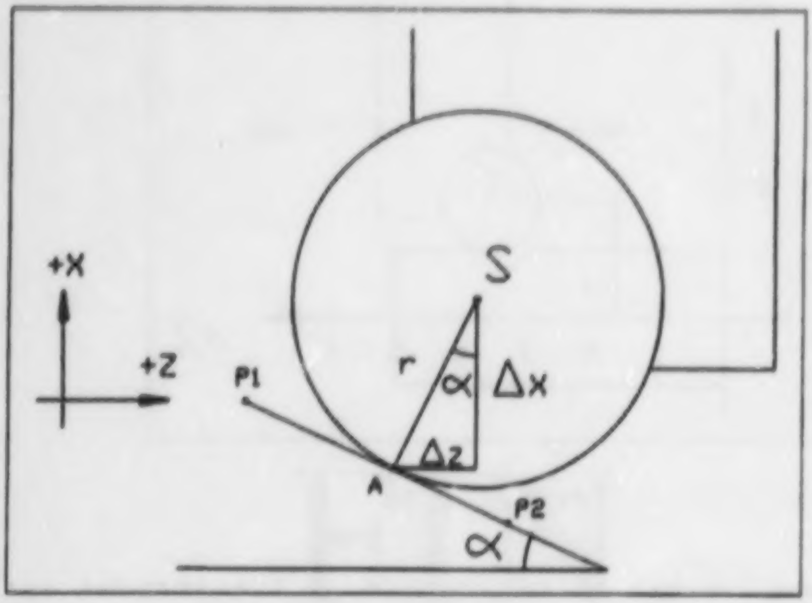


FIGURE 9.24

$$\alpha = \text{ARC TAN}\left(\frac{X1 - X2}{Z2 - Z1}\right)$$

$$\Delta x = r * \text{COS}(\alpha)$$

$$\Delta z = r * \text{SIN}(\alpha)$$

Exemple: Un tour utilise un outil de 0.1 pouce de rayon pour exécuter une passe de finition d'une pièce ayant une surface conique. Les coordonnées de la pièce usinée sont P1 (3,3) et P2 (2,7). Le déplacement de l'outil est programmé par rapport au point S. Trouvez les coordonnées à programmer pour usiner cette pièce.

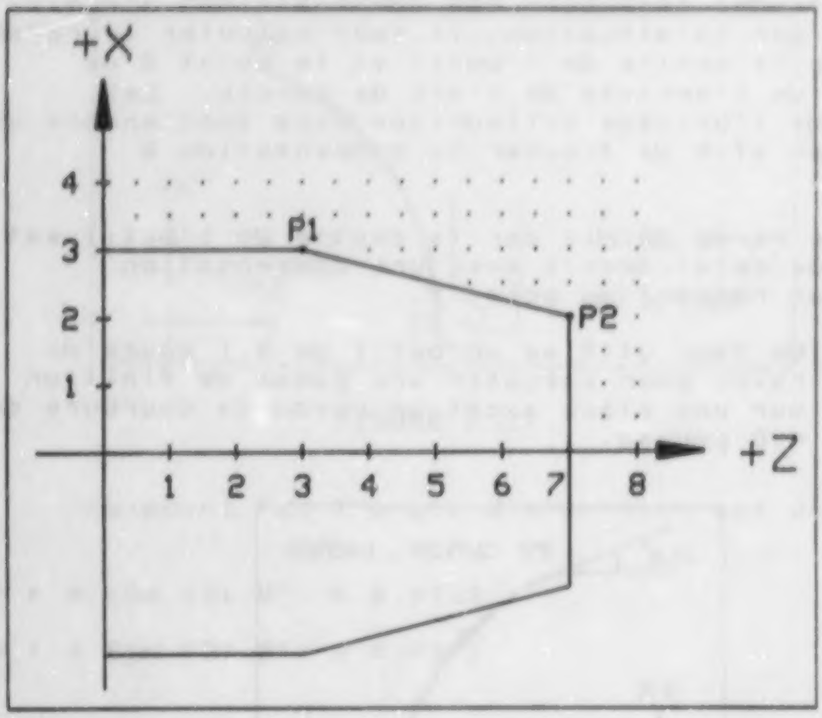


FIGURE 9.25

$$\alpha = \text{ARC TAN}\left(\frac{X1 - X2}{Z2 - Z1}\right) = \text{ARC TAN}\left(\frac{3 - 2}{7 - 3}\right) = 14.04°$$

$$\Delta x = r * \text{COS}(\alpha) = 0.1940$$

$$\Delta z = r * \text{SIN}(\alpha) = 0.0485$$

D'où les coordonnées du point S pour usiner en P1 sont $(3+ \Delta x , 3+ \Delta z) = (3.1940 , 3.0485)$ et les coordonnées du point S pour usiner en P2 sont $(2+ \Delta x , 7+ \Delta z) = (2.1940 , 7.0485)$.

ATTENTION! dans ce cas-ci, il faut additionner les valeurs des compensations Δx et Δz aux coordonnées de la surface usinée (ex.: $4 + \Delta x , 3 + \Delta z$). Dans certains cas, il faut soustraire ces valeurs ou bien en additionner une et soustraire l'autre.

Pour usiner une pièce à profil circulaire, là aussi il faudra effectuer des compensations d'outil. Pour corriger la situation, il faut calculer le rayon décrit par le centre de l'outil et le point S du départ et de l'arrivée de l'arc de cercle. Les formules de l'usinage cylindrique nous sont encore une fois utiles afin de trouver la compensation à apporter.

Le rayon décrit par le centre de l'outil est le même que celui décrit avec une compensation d'outil par rapport au point P.

Exemple: Un tour utilise un outil de 0.1 pouce de rayon pour exécuter une passe de finition sur une pièce ayant un rayon de courbure de 4.0 pouces.

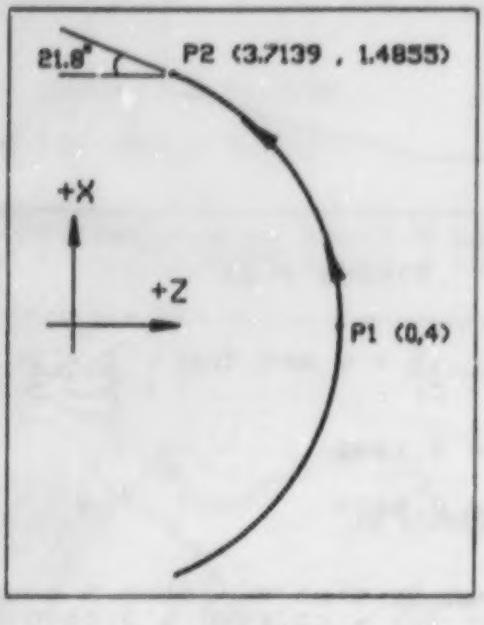


FIGURE 9.26

Au point P1, l'angle d'élévation est de 90°.

$\Delta x = r * \text{COS}(90°) = 0.1 * 0 = 0$

$\Delta z = r * \text{SIN}(90°) = 0.1 * 1 = 1$

Les coordonnées du point S pour usiner en P1 sont $(0 + \Delta x\ ,\ 4 + \Delta z) = (0\ ,\ 4.1)$.

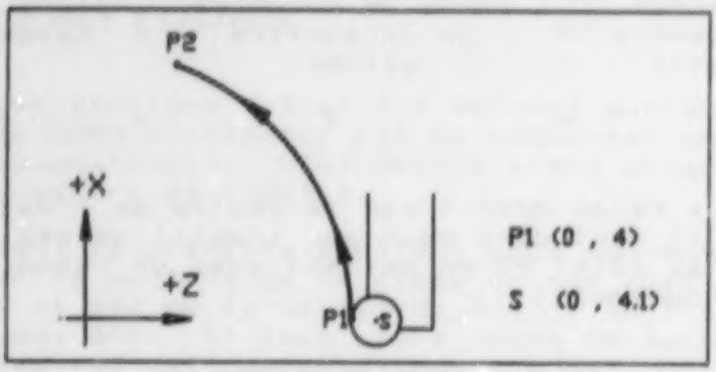


FIGURE 9.27

Au point P2, l'angle d'élévation est de 21.8°.

$\Delta x = r * COS(21.8°) = 0.0928$

$\Delta z = r * SIN(21.8°) = 0.0371$

Les coordonnées du point S pour usiner en P2 sont (3.7139 + Δx , 1.4855 + Δ z) = (3.8067 , 1.5226).

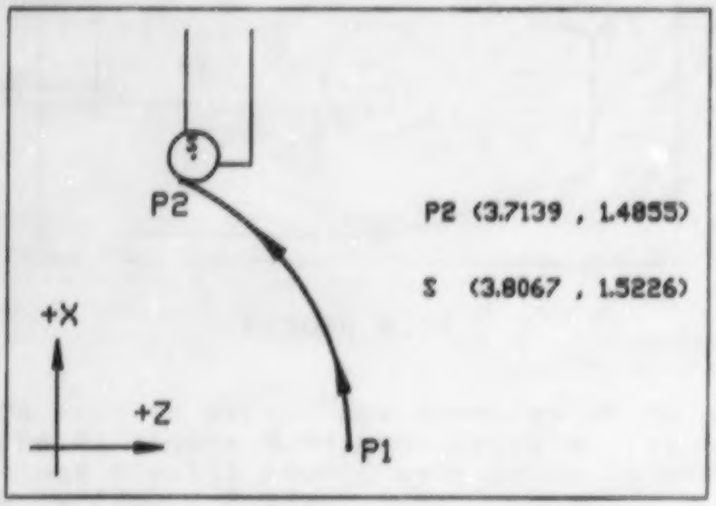


FIGURE 9.28

La surface usinée est convexe donc:

Rayon décrit par le centre de l'outil	=	Rayon de courbure de la surface usinée	+	Rayon d'outil
	=	4	+	0.1

Le rayon décrit par le centre de l'outil = 4.1 pouces. Il faut donc pour que l'outil se déplace du point P1 au point P2 en usinant avec un rayon de 4 pouces programmer:

```
        ;
G01 X-0.0000 Z+4.1000 ;
G03 X+3.8067 Z+1.5226 R4.1 ;
        ;
```

9.4 COMPENSATIONS D'OUTIL AUTOMATIQUES

Les sections 9.2 et 9.3 servent surtout lorsque la MOCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Nous devons alors programmer le trajet du centre de l'outil.

Dans la présente section, nous pouvons programmer la surface de la pièce usinée avec les codes G41 et G42 ou le trajet du centre de l'outil avec le code G40. Il faut alors, dans certains cas, dans le tableau des compensations d'outil, définir un rayon d'outil et le facteur de position du point de référence par rapport au centre de l'outil.

Les exemples de compensations d'outil du chapitre 8 sont autant applicables pour un tour que pour une fraiseuse.

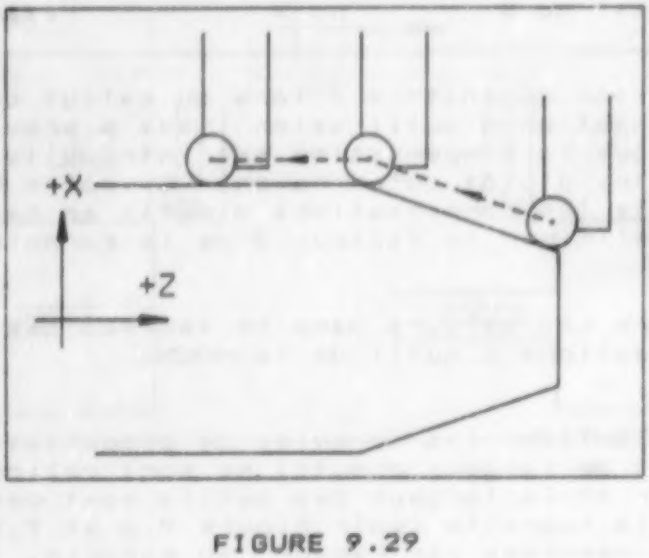


FIGURE 9.29

On peut se servir des formules de la géométrie 1, chapitre 8, figure 8.43 pour calculer les compensations d'outil pour l'usinage de la pièce montrée à la figure 9.29.

Compensations d'outil pour un tour

Nous pouvons calculer les valeurs X et Z à entrer dans le tableau des compensations d'outil automatiques de la même façon que nous avons calculé les compensations de longueur d'outil pour la fraiseuse à la section 8.2.

Voici la procédure à suivre.

1 - On mesure la longueur et la largeur de chaque outil.

2 - On calcule les compensations d'outil à l'aide des formules suivantes.

$$\text{Compensation selon l'axe X de l'outil no X} = 2 * \left(\text{Longueur de l'outil no X} - \text{Longueur de l'outil de référence}\right)$$

$$\text{Compensation selon l'axe Z de l'outil no X} = \text{Largeur de l'outil no X} - \text{Largeur de l'outil de référence}$$

N.B. La raison du chiffre 2 lors du calcul de la compensation d'outil selon l'axe X provient du fait que la compensation est introduite en diamètre plutôt qu'en rayon. Si votre MOCN accepte les compensations d'outil en rayon, il faut éliminer le facteur 2 de la formule.

3 - On entre ces valeurs dans le tableau des compensations d'outil de la MOCN.

ATTENTION! les formules de compensations de longueur et de largeur d'outil ne sont valides que si la longueur et la largeur des outils sont mesurées par rapport à la tourelle (voir Figure 9.2 et 9.3). Si elles sont mesurées par rapport au mandrin, les formules ne sont plus valides.

Lorsque le programmeur utilise une compensation par rapport au point S, il doit utiliser une valeur nulle au mot Q du bloc...

G10.X....Z....R....Q.....

Le mot G10 est expliqué à la section 7.5.8.

Il est aussi possible d'utiliser la programmation du point P, mais il faut utiliser 1, 2, 3 ou 4 comme valeur du mot Q selon la position du point de référence par rapport au centre de l'outil.

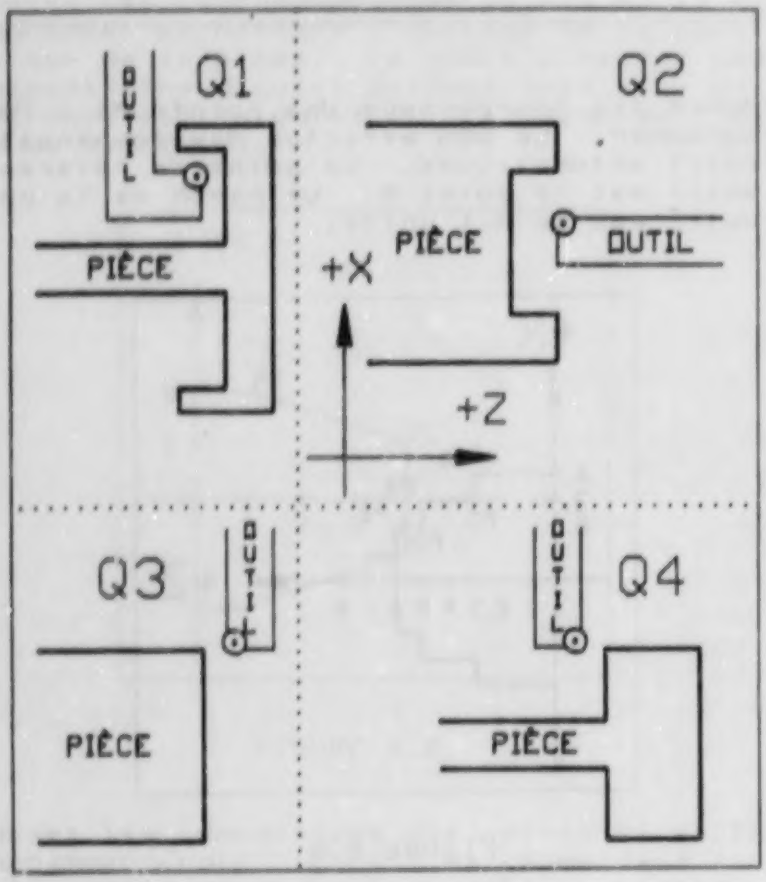


FIGURE 9.30

CHAPITRE 9

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UN TOUR À CN

TRAVAUX

---

1 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P6 à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques. Le point de référence sur l'outil est le point S. Le rayon de la pointe de l'outil est de 0.1 unité.

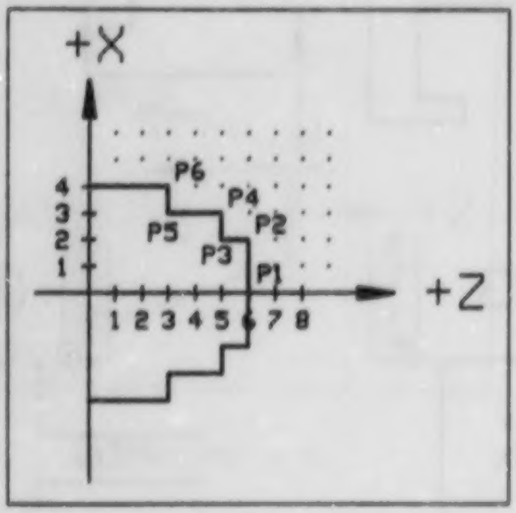


FIGURE 9.A

2 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P6 à programmer (voir Figure 9.A). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point S. Le rayon de l'outil est de 0.1 unité.

3 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P6 à programmer (voir Figure 9.A). Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.1 unité.

4 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P6 à programmer (voir Figure 9.A). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.1 unité.

5 - Trouvez les coordonnées des points P1 et P2 à programmer permettant l'usinage de la partie conique de la pièce. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.2 unité.

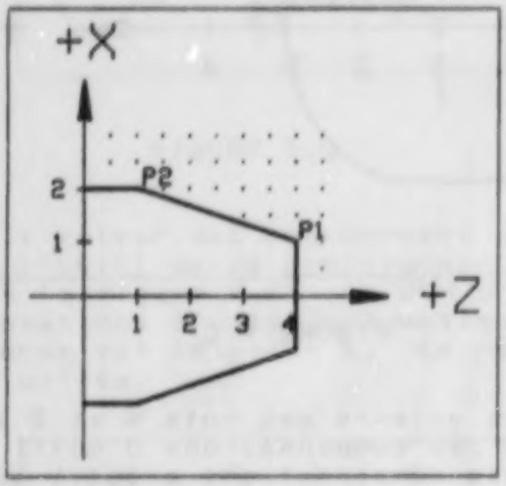


FIGURE 9.B

6 - Trouvez les coordonnées des points P1 et P2 à programmer (voir Figure 9.B) permettant l'usinage de la partie conique de la pièce. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point S. Le rayon de l'outil est de 0.2 unité. Que remarquez-vous en comparant vos résultats avec ceux de la question 5?

7 - Trouvez les coordonnées des points P1 et P2 à programmer permettant l'usinage de la partie circulaire de la pièce. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point S. Le rayon de l'outil est de 0.2 unité. Calculez de plus le rayon de courbure à programmer.

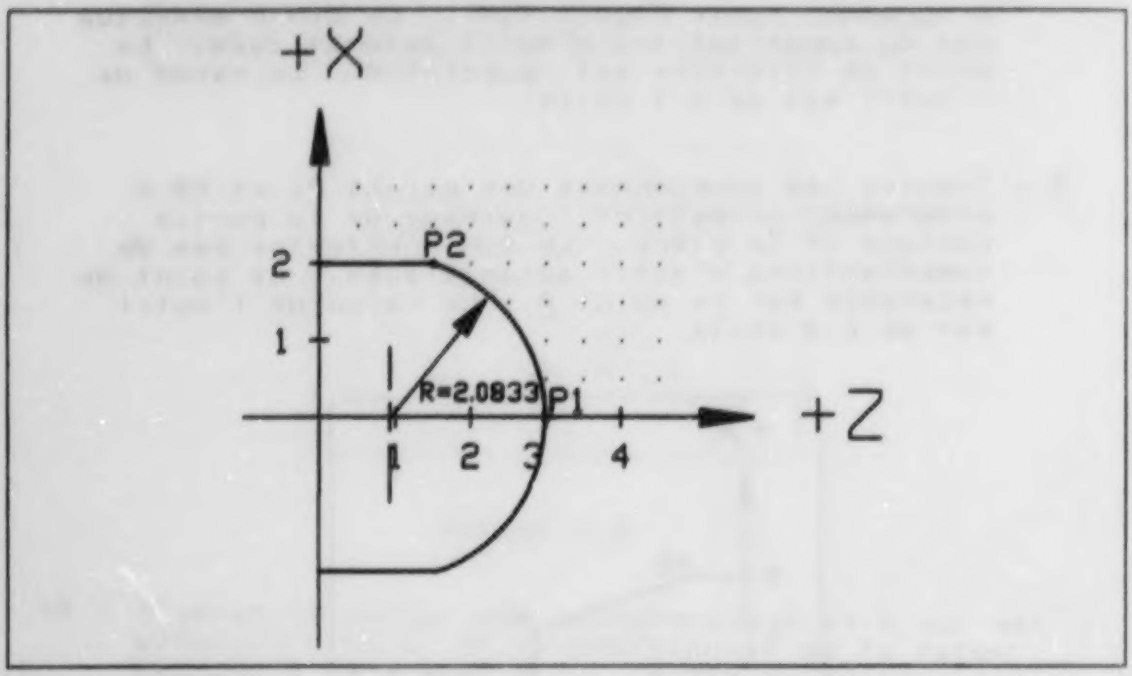


FIGURE 9.C

8 - Trouvez les valeurs des mots X et Z à entrer dans le tableau des compensations d'outil si la MOCN effectue des compensations d'outil automatiques. L'outil de référence est l'outil no 1.

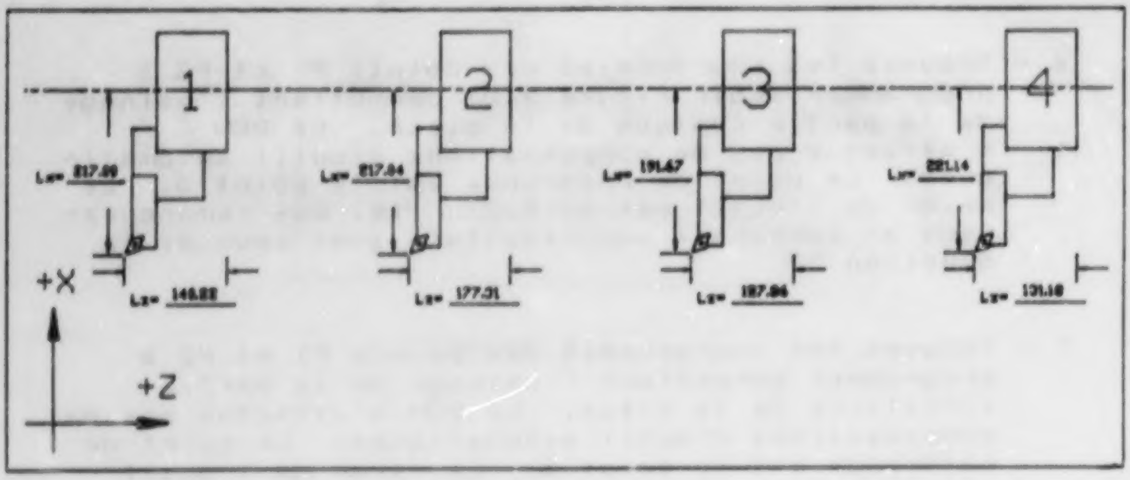


FIGURE 9.D

9 - Pour chacun des outils suivants, trouvez le mot Q à entrer dans le tableau des compensations d'outil si la MOCN effectue des compensations d'outil automatiques.

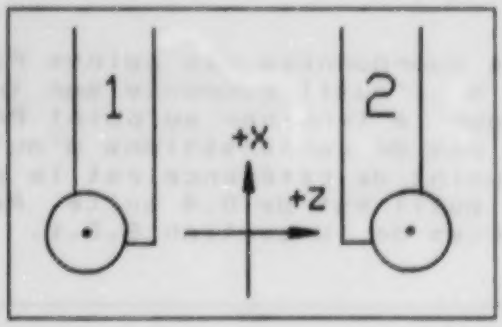


FIGURE 9.E

10 - Trouvez la valeur des coordonnées X et Z qui ont permis à l'outil de se positionner de la façon montrée à la figure 9.F. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point S. Le rayon de l'outil est de 2 unités.

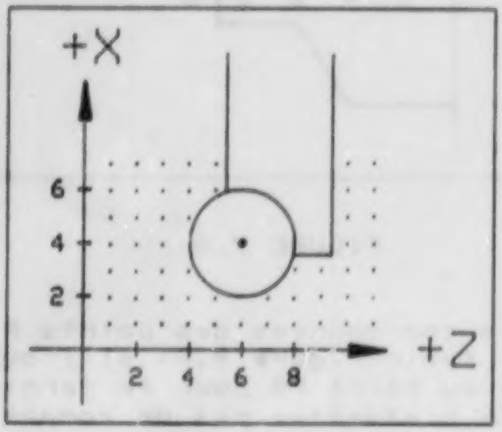


FIGURE 9.F

11 - Trouvez la valeur des coordonnées X et Z qui ont permis à l'outil de se positionner de la façon montrée à la figure 9.F. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 2 unités.

12 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P3 à programmer si l'outil commence son trajet au point P0 pour le terminer au point P4. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point S. Le rayon de l'outil est de 0.4 unité. Référez-vous aux géométries de la section 8.3.1.

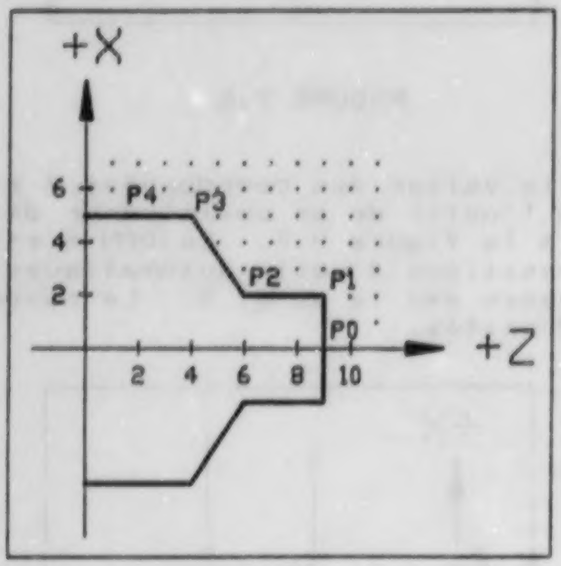


FIGURE 9.G

13 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P3 à programmer (voir Figure 9.G) si l'outil commence son trajet au point P0 pour le terminer au point P4. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.4 unité.

La commande numérique prend de plus en plus de place dans l'industrie québécoise. Aujourd'hui, beaucoup de grandes entreprises et aussi beaucoup de PME sont équipées de machines à commande numérique. Ces machines ne peuvent fonctionner sans opérateur et sans programmeur qualifiés. Certaines entreprises entraînent elles-mêmes leur personnel; d'autres engagent du personnel qualifié sortant des écoles. C'est là que nous intervenons.

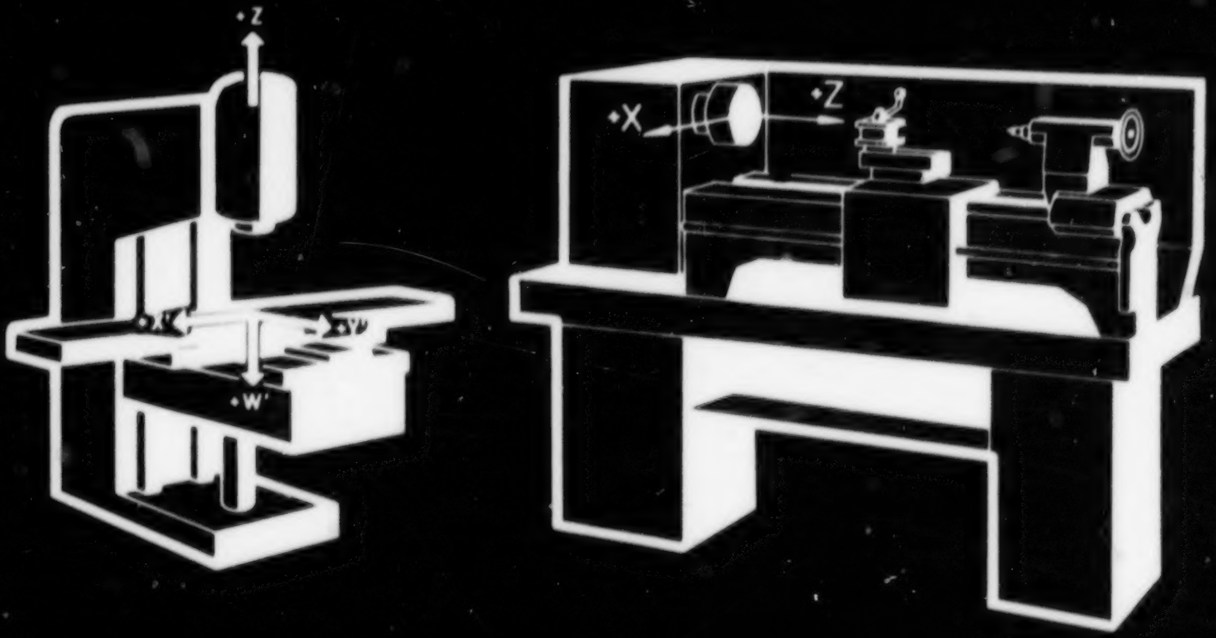
Au Québec, plusieurs écoles secondaires enseignent la commande numérique. Un problème se pose toutefois; il y a un manque de matériel didactique adéquat. Nous avons tenté de créer un manuel d'apprentissage de la commande numérique de langue française, adapté au niveau professionnel et que nous avons voulu le plus complet possible.

Ce manuel s'adresse à ceux qui veulent devenir opérateur ou programmeur de MOCN. Le langage de programmation utilisé est le langage machine aussi appelé la programmation manuelle.

UNIVERSITÉ
DE SHERBROOKE

MANUEL D'APPRENTISSAGE DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

MILAN BREZINA
DENIS DUBÉ



PPMEP
FACULTÉ D'ÉDUCATION

CAHIER 3

EDUQ 8770570C

Ce manuel comprend 17 parties distinctes réparties en 4 cahiers séparés. Voici un survol de chacun des cahiers.

- Le cahier 1 présente la nomenclature des symboles utilisés dans ce manuel, une introduction, des définitions et l'historique de la commande numérique, un rappel mathématique et une description des constituants des machines-outils à commande numérique (MOCN). Il traite des supports d'informations utilisés en commande numérique, de la syntaxe d'un programme et des conventions d'axes.

- Le cahier 2 renferme les codes de programmation pour les opérations de fraisage et de tournage; il traite aussi des compensations d'outil pour ces mêmes opérations.

- Le cahier 3 expose 13 projets d'usinage permettant à l'élève d'assimiler la matière enseignée et de l'appliquer sur les machines-outils à commande numérique. Il comprend un lexique et un index des principaux termes employés dans le manuel.

- Le cahier 4 s'adresse au professeur ou à toute autre personne qui voudront prendre le cours de façon autodidacte. Il contient le corrigé des travaux, un test et le corrigé du test pour chacun des chapitres sauf le chapitre 2 qui, lui, est jonché d'exercices. Il contient aussi les résultats des projets d'usinage du cahier 3.

Le manuel proprement dit contient 9 chapitres répartis dans les cahiers 1 et 2; il est complété par les annexes A à H qui forment les cahiers 3 et 4. Nous tenons à souligner que l'ordre de présentation des cahiers correspond à celui que nous jugeons le meilleur, mais il ne représente pas un cheminement strict d'utilisation. À tous, bon apprentissage!

N.B. La reproduction totale ou partielle des cahiers 1, 2 et 3 est interdite. Toutefois, pour des raisons pratiques, nous autorisons les enseignants à reproduire le cahier 4 dans le but de distribuer des tests et des corrigés aux élèves.

MILAN BREZINA
Professeur agrégé
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

DENIS DUBÉ
Ingénieur en mécanique
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

MANUEL D'APPRENTISSAGE
DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR
DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

--- 3 ---

PPMEP

FACULTÉ D'ÉDUCATION

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Le présent manuel a été réalisé grâce à une subvention accordée par le ministère de l'Enseignement supérieur de la Science et de la Technologie dans le cadre du programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel.

© Publication du CRP

Tous droits réservés
Université de Sherbrooke
Faculté d'éducation
Programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel

3e trimestre 1986

ISBN 2-920859-05-6 (ensemble des 4 cahiers)
ISBN 2-920859-03-X (cahier 3)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur participation à l'élaboration de ce manuel :

HÉLÈNE OUELLET, professeure au département de pédagogie, pour son expertise pédagogique et sa collaboration lors de l'expérimentation du manuel;

HENRI-CLAUDE LAINESSE, enseignant à l'école l'Escale d'Asbestos, pour sa participation à l'expérimentation avec son groupe d'élèves;[1]

ANDRÉ MARTIN, ingénieur, pour la réalisation de la plupart des figures du manuel;

JACYNTHE RODRIGUE, enseignante, pour la correction du français et de diverses tâches de secrétariat;

JEAN LAPOINTE, professeur au département de génie mécanique, pour sa collaboration;

GAÉTAN LAFLAMME, PIERRETTE DUPONT ET GÉRARD-RAYMOND ROY, responsables du PPMEP.

---

1 Dans ce manuel, le genre neutre masculin concerne également, s'il y a lieu, les hommes et les femmes, les élèves (garçons et filles), etc.

TABLE DES MATIÈRES

ANNEXES

CAHIER 3

Table des matières....................7

Préface....................9

Travail à remettre....................11

Démarche....................13

Annexe A LES PROJETS DE FRAISAGE....................21

A1 Pièce no 1 Le carré....................23

A2 Pièce no 2 Le contournage....................31

A3 Pièce no 3 Le piédestal....................37

A4 Pièce no 4 La poche....................43

A5 Pièce no 5 Le perçage....................53

A6 Pièce no 6 Le 'S'....................59

A7 Pièce no 7 La croix....................69

Annexe B LES PROJETS DE TOURNAGE....................75

B1 Pièce no 1 Les rainures....................77

B2 Pièce no 2 Les rondelles....................85

B3 Pièce no 3 Le filetage extérieur....................93

B4 Pièce no 4 Le gros "smarties"....................101

B5 Pièce no 5 Le filetage intérieur....................111

B6 Pièce no 6 Le pion....................123

Annexe C LEXIQUE....................133

Annexe D INDEX....................149

PROJETS D'USINAGE

PRÉFACE

Vous trouverez dans ce cahier, 2 séries de projets d'usinage. Il y a une série de 7 projets de fraisage et une autre de 6 projets de tournage. Les projets d'une même série sont placés dans un ordre croissant de difficulté. Ces projets visent à faire faire la synthèse de tous les chapitres du manuel et surtout d'appliquer la théorie qui vient d'être apprise.

Il n'est pas nécessaire d'avoir terminé l'apprentissage des 9 chapitres avant de se lancer dans les projets d'usinage. Mais, dans ce cas, le support du professeur devra être accru.

Tous ces projets ne sont pas à réaliser durant l'année scolaire. Le professeur aura le choix de faire accomplir ceux qu'il juge le plus opportun.

Les présents projets doivent être situés dans un contexte où le programmeur reçoit des plans et des directives, quant à un type de pièce à produire; il doit usiner cette pièce (ou série de pièces) en passant par la création d'un programme pièce. C'est un contexte que nous avons voulu le plus près possible de la réalité industrielle, surtout de la PME, puisque la même personne est appelée à programmer et faire fonctionner la MOCN.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

PROJETS D'USINAGE

TRAVAIL À REMETTRE

Voici la liste des informations que l'élève doit remettre au professeur lors de la réalisation d'un projet d'usinage. Chaque dossier doit contenir ce qui suit.

Information 1: une feuille de présentation comprenant:

- la date actuelle;
- le nom du programmeur;
- le lieu de travail;
- le nom et/ou le numéro de la pièce;
- le nom et/ou le numéro du programme;
- le nom de la MOCN utilisée, etc.

Information 2: le(s) plan(s) de la pièce.

Information 3: les spécifications générales, soit:

- l'usinage avec ou sans compensations d'outil automatiques;
- les unités de mesure utilisées, etc.

Information 4: les spécifications et recommandations spéciales de cette pièce, soit:

- les précautions à prendre pour une pièce difficile à usiner;
- les particularités spéciales du montage, etc.

Information 5: le temps d'usinage commenté.

Information 6: la liste des outils utilisés.

Information 7: les paramètres d'usinage, soit:

- les RPM;
- les vitesses d'avance;
- le lubrifiant utilisé;
- les profondeurs de coupe, etc.

Travail à remettre

Information 8:	un schéma des outils avec leurs dimensions.
Information 9:	le tableau des compensations d'outil.
Information 10:	les schémas commentés de l'itinéraire du trajet d'outil. N'oubliez pas de dessiner les origines. On peut y joindre aussi le tracé au crayon sur la MOCN.
Information 11:	les calculs (même s'ils sont brouillons) permettant de trouver les coordonnées des points du trajet d'outil.
Information 12:	un tableau de positionnement complété.
Information 13:	les schémas du montage commentés.
Information 14:	les préparatifs permettant de positionner le 1er outil au bon endroit avant l'usinage de la pièce.
Information 15:	une copie du premier manuscrit commenté. (brouillon)
Information 16:	une copie du programme pièce final commenté. (imprimante)
Information 17:	un ruban perforé du programme final.
Information 18:	une pièce en matière molle. *
Information 19:	une pièce avec le vrai matériau. *

* Il est évident que, si la pièce à usiner est un bloc moteur de locomotive de 2 tonnes, qu'il n'est pas recommandé d'en insérer un dans le dossier.

PROJETS D'USINAGE

DÉMARCHE

C'est un grand défi pour un programmeur qui n'a pas l'habitude de travailler sur une MOCN de créer un programme pièce et d'usiner une pièce à partir d'un plan et de certaines directives. Doit-il d'abord commencer par écrire le programme, mesurer les outils, tracer l'itinéraire du trajet d'outil ou calculer les paramètres d'usinage? Le programmeur devient vite perdu à travers les diverses étapes permettant l'usinage d'une pièce. La raison principale de ses difficultés est qu'il n'a pas acquis une bonne méthode de travail.

La procédure suivante permettra à ce dernier de mieux comprendre toutes les étapes nécessaires à la réalisation d'un programme pièce.

1re ÉTAPE Bien comprendre les plans et les directives.

Le programmeur doit étudier les plans et lire attentivement les directives. S'il ne comprend pas une donnée, il ne doit pas hésiter à se renseigner auprès des gens qui lui ont confié ce travail.

2e ÉTAPE Compléter les informations manquantes.

Il pourrait arriver qu'une certaine liberté soit accordée au programmeur quant au choix du matériau, de la MOCN à utiliser ou même de certaines dimensions de la pièce finie. Le programmeur doit donc compléter les informations qu'il lui manque et dont il est responsable.

3e ÉTAPE Définir mentalement la façon d'usiner la pièce.

Le programmeur doit réfléchir à la façon de préparer le montage, au type d'outil à utiliser et à l'itinéraire à suivre.

4e ÉTAPE Écrire la gamme d'outils.

Le programmeur doit écrire la liste détaillée des outils à utiliser pour usiner la pièce. Il est préférable de donner un numéro à chacun de ces outils.

5e ÉTAPE Calculer les paramètres d'usinage.

Connaissant la gamme d'outils, le programmeur peut maintenant calculer les vitesses d'avance de ces outils, la vitesse de rotation de la broche pour le dégrossissage et la finition ainsi que les profondeurs maximales de passe et l'épaisseur à laisser pour la passe de finition.

6e ÉTAPE Tracer l'itinéraire du trajet d'outil.

Le programmeur dessine le schéma de l'itinéraire du trajet d'outil en identifiant bien le nom des points du trajet par des signes particuliers.

7e ÉTAPE Calculer les dimensions du plan et les coordonnées des points.

Le programmeur doit calculer les coordonnées des points de la 6e étape. Pour ce faire, il doit définir une (ou des) origine(s) programme(s) et une origine outil qu'il devra représenter sur le schéma de la 6e étape. Il est important qu'il conserve tous ces calculs pour une future correction.

8e ÉTAPE Écrire l'itinéraire dans un tableau de positionnement.

Le programmeur peut maintenant créer un tableau de positionnement contenant les points de l'itinéraire et toutes les coordonnées de chaque point. Il devrait commenter ce tableau au besoin.

9e ÉTAPE Créer le manuscrit du programme pièce.

Le programmeur écrit le programme pièce sur du papier en tenant compte des directives et de l'itinéraire. Il est préférable d'écrire des commentaires à côté de chaque bloc d'informations pour aider à la compréhension du programme.

10e ÉTAPE Calculer les compensations d'outil.

L'opérateur trouve ses outils; il les installe dans des porte-outils et mesure les longueurs d'outil, les diamètres ou toutes autres dimensions utiles. À partir de ces mesures, il peut calculer les compensations d'outil. Il entre ces valeurs sur papier dans un tableau des compensations d'outil. Un schéma des outils peut aider à la compréhension du calcul des compensations d'outil.

11e ÉTAPE Introduire le programme dans la MOCN.

Le programmeur tape son programme sur un équipement dans le but de l'emmagasiner de façon permanente sur un support d'informations. Cet équipement peut être un ordinateur, une perforatrice de bande ou même la MOCN. Si l'équipement n'est pas la MOCN, le programmeur insère ensuite son programme dans la MOCN.

12e ÉTAPE Vérifier le programme par simulation.

Si la MOCN est munie d'un système de simulation, le programmeur doit vérifier son programme à l'aide de ce simulateur. Lorsqu'il découvre une erreur, il la corrige et vérifie de nouveau son programme à l'aide du simulateur. Il ne doit pas passer à l'étape suivante tant qu'il découvre des erreurs dans la simulation.

13e ÉTAPE Vérifier le programme avec un traceur.

Un crayon est installé dans le porte-outil et une feuille de papier est placée sur la table de la MOCN. Le programme est exécuté et la trace laissée par l'outil est analysée. L'inspection visuelle et l'inspection à l'aide d'une règle peuvent faire découvrir des erreurs. Si c'est le cas, il faut corriger ses erreurs et réexécuter le programme avec une autre feuille de papier.

ATTENTION! si la MOCN utilisée est une fraiseuse, il faut bloquer les mouvements selon l'axe Z lors du traçage au crayon. L'opérateur doit toujours se tenir prêt à arrêter la MOCN si quelque chose d'anormal se produit et ce, pour toutes les étapes de vérification.

14e ÉTAPE Vérifier le programme à vide.

Le programme est exécuté sans qu'une pièce soit usinée. La table de la fraiseuse est baissée, la poupée mobile du tour est retirée pour diminuer les risques de collision. Les compensations d'outil sont introduites dans le tableau des compensations d'outil de la MOCN.

Au départ du programme, l'outil no 1 est installé dans la broche et les changements d'outil sont exécutés. De cette façon, on peut encore une fois déceler des erreurs dans son programme. Si c'est le cas, on corrige ses erreurs et on réexécute le programme.

15e ÉTAPE Installer le montage.

L'opérateur installe le montage sur la table de la fraiseuse, soit l'étau, la fixation, les brides de serrage, etc. Sur le tour, le montage peut être la poupée mobile, l'ajustement des mors, etc.

16e ÉTAPE Vérifier le programme avec une matière molle.

Une pièce brute en "styrofoam", en cire, en bois, en plastique ou en nylon est fixée sur la table de la fraiseuse ou dans le mandrin du tour. L'opérateur doit positionner l'outil au point de départ du programme, déverrouiller les dispositifs de sécurité empêchant la broche de tourner et peser la touche "START". Le programme est exécuté.

On peut alors, en inspectant la pièce finie, découvrir des erreurs de programmation. Si c'est le cas, on corrige ses erreurs et on réexécute le programme avec une autre pièce brute en matière molle.

17e ÉTAPE Usiner une vraie pièce.

Une fois que la pièce en matière molle est réalisée avec succès, l'étape suivante est d'usiner une pièce avec le bon matériau (ex.: aluminium ou acier). L'opérateur ajuste les jets de lubrifiants et pèse la touche "START". Il doit toujours se tenir prêt à arrêter la MOCN si quelque chose d'anormal se produit.

Si, après l'exécution du programme ou en cours de route, il découvre quelque chose d'anormal, il peut corriger son erreur puis recommencer l'exécution. Il peut aussi améliorer l'usinage en modifiant certains paramètres d'usinage telles la vitesse d'avance, la rotation de la broche, etc. De cette façon, il améliore le fini de surface, diminue le temps d'usinage et prolonge la vie des outils et des moteurs de la MOCN.

18e ÉTAPE Inspecter la pièce.

Une inspection rigoureuse de la pièce finie doit être exécutée. Si une erreur est découverte, il faut retourner à la 17e étape après avoir corrigé le programme.

19e ÉTAPE Calculer le temps d'usinage.

Si le nombre de pièces à usiner est grand, il est préférable de calculer le temps requis pour usiner une pièce. De cette façon, il est possible de planifier le temps requis pour usiner un lot de pièces.

Le temps requis pour usiner une pièce commence lorsque l'opérateur appuie sur la touche "START" et se termine lorsqu'une 2e pièce est fixée au montage et que l'opérateur est prêt de nouveau à appuyer sur la touche "START". Ceci comprend le temps pendant lequel le programme s'exécute, le temps pendant lequel les changements d'outil sont effectués et le temps requis pour enlever la pièce usinée et la remplacer par une pièce brute.

20e ÉTAPE Décrire le montage en détails.

Le programmeur doit faire un schéma détaillé du montage. Il est important que le montage reste le même si l'on veut usiner plus tard une série de pièces identiques. En utilisant un montage différent, il est possible que l'outil entre en collision avec le montage; ceci ne se produirait pas si le montage restait le même. Si l'opérateur ne décrit pas le montage, il ne se souviendra pas du montage qu'il avait utilisé auparavant.

21e ÉTAPE Préparer le dossier.

Le programmeur réunit toutes ses informations en ordre: les plans, les schémas, le programme pièce corrigé et commenté, ainsi que les informations spéciales concernant ce projet. Le dossier doit contenir le nom du programmeur, la date de création du programme, le nom de la pièce ou son numéro.

S'il décide d'usiner une série de pièces identiques dans un an ou deux, il pourra se référer au programme qu'il a écrit avec les schémas et les informations. Il saura que le programme qu'il voit est sans erreur. S'il n'écrit pas toutes ces informations, il devra recommencer à la 1re étape, réécrire le programme et le vérifier.

PROJETS D'USINAGE

DÉMARCHE (En résumé)

Voici, regroupées sur une même page, toutes les étapes de la démarche permettant d'usiner une pièce sur une MOCN.

1re	ÉTAPE	Bien comprendre les plans et les directives.
2e	ÉTAPE	Compléter les informations manquantes.
3e	ÉTAPE	Définir mentalement la façon d'usiner la pièce.
4e	ÉTAPE	Écrire la gamme d'outils.
5e	ÉTAPE	Calculer les paramètres d'usinage.
6e	ÉTAPE	Tracer l'itinéraire du trajet d'outil.
7e	ÉTAPE	Calculer les dimensions du plan et les coordonnées des points.
8e	ÉTAPE	Écrire l'itinéraire dans un tableau de positionnement.
9e	ÉTAPE	Créer le manuscrit du programme pièce.
10e	ÉTAPE	Calculer les compensations d'outil.
11e	ÉTAPE	Introduire le programme dans la MOCN.
12e	ÉTAPE	Vérifier le programme par simulation.
13e	ÉTAPE	Vérifier le programme avec un traceur.
14e	ÉTAPE	Vérifier le programme à vide.
15e	ÉTAPE	Installer le montage.
16e	ÉTAPE	Vérifier le programme avec une matière molle.
17e	ÉTAPE	Usiner une vraie pièce.
18e	ÉTAPE	Inspecter la pièce.
19e	ÉTAPE	Calculer le temps d'usinage.
20e	ÉTAPE	Décrire le montage en détails.
21e	ÉTAPE	Préparer le dossier.

ANNEXE A

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

PROJET DE FRAISAGE NO 1

LE CARRÉ

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une plaque selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le pouce.
- Programmation sans compensation automatique du diamètre d'outil.
- Programmation avec une compensation automatique de la longueur d'outil.
- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo).[1]
- Tous les changements d'outil se font à l'origine outil (Oo).
- La programmation est en coordonnées absolues.

---

1 Voir la nomenclature dans le cahier 1 pour la signification des symboles.

LE PLAN DE LA PIÈCE

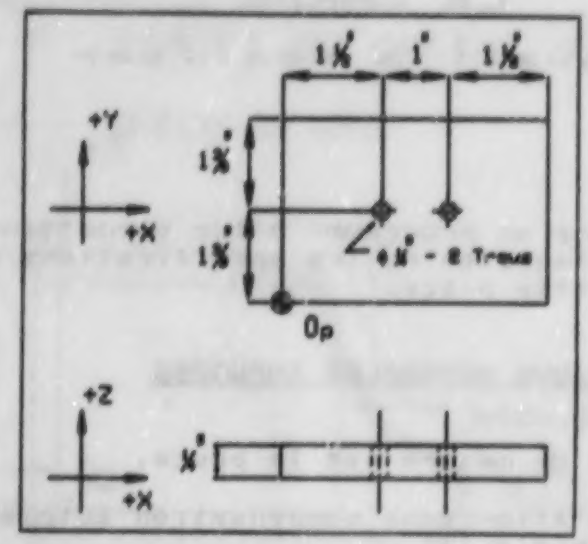


FIGURE F1.1

Matériau: Acier 1010, roulé à froid, 200 BHN.

Dimensions brutes: 3 * 4 1/4 * 1/4 po.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

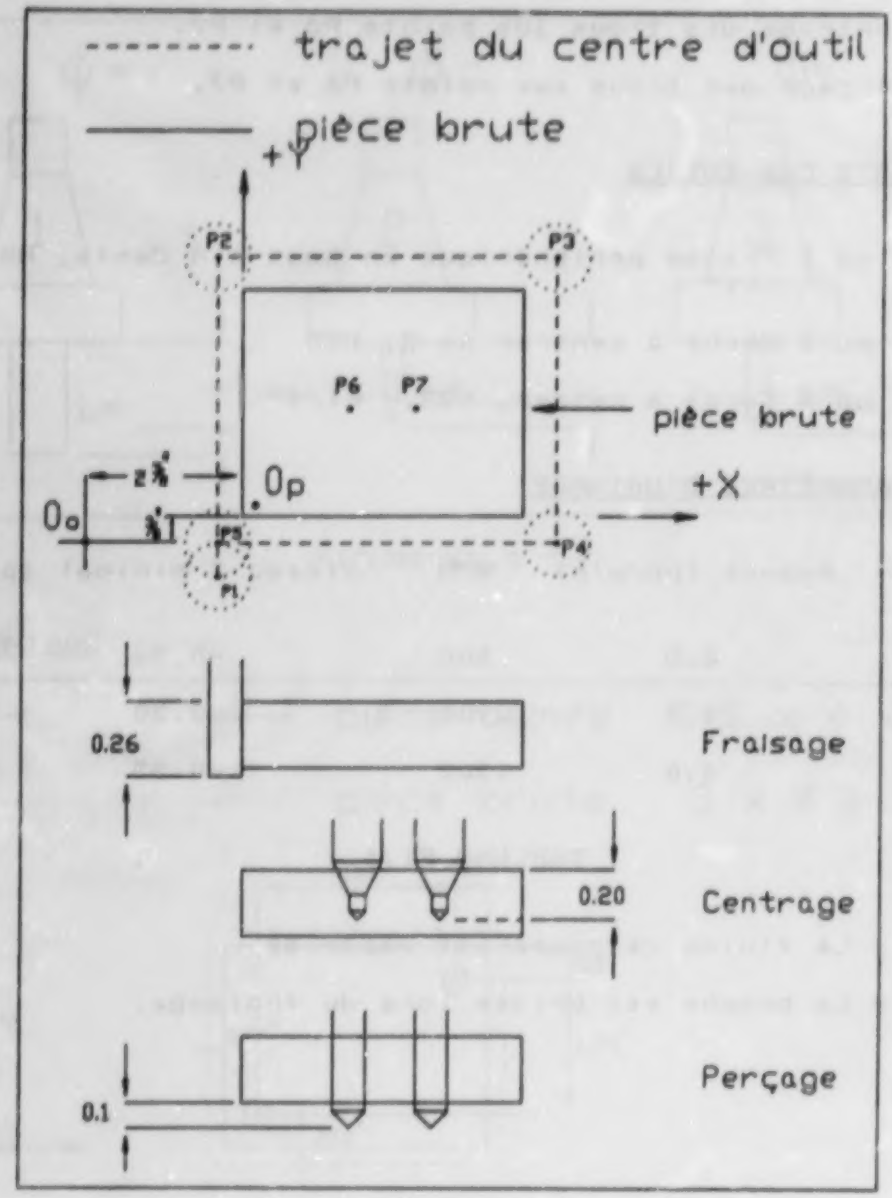


FIGURE F1.2

Op est située au niveau supérieur de la plaque. Oo est située à 1 po au-dessus du niveau supérieur de la plaque.

1 - Fraisage du point P1 au point P2, puis au point P3, puis au point P4, puis au point P5.

2 - Centrage des trous aux points P6 et P7.

3 - Perçage des trous aux points P6 et P7.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Fraise périphérique en bout à 4 dents, HSS, ϕ1"

Outil no 2 Mèche à centrer no 2, HSS

Outil no 3 Foret à percer, HSS, ϕ1/4"

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/min)	RPM	Niveau Z minimal (po)
1	8.0	500	-0.26
2	2.7	2900	-0.20
3	6.0	1200	-0.35

TABLEAU F1.1

- Le fluide de coupe est vaporisé.
- La broche est bridée lors du fraisage.

LE SCHÉMA DES OUTILS

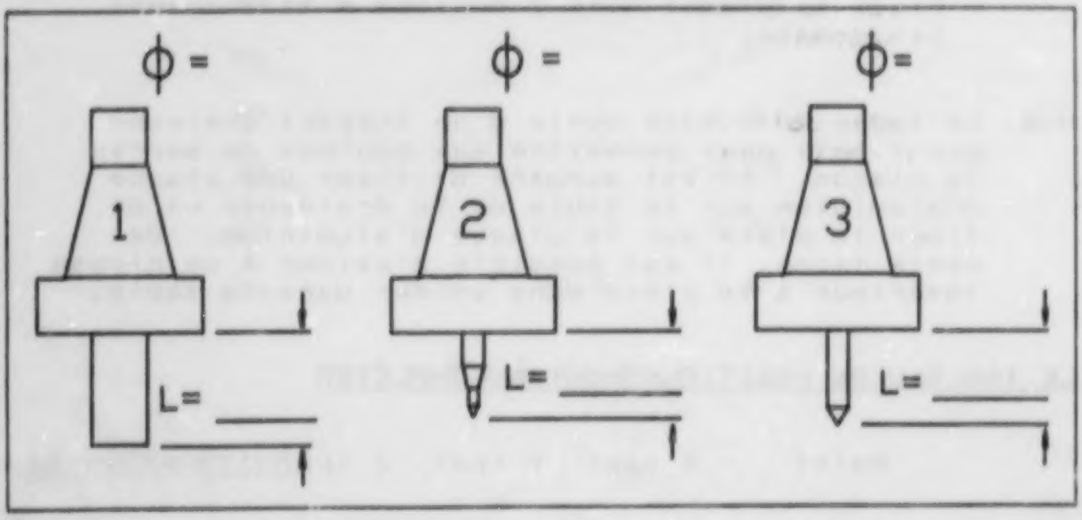


FIGURE F1.3

LE MONTAGE

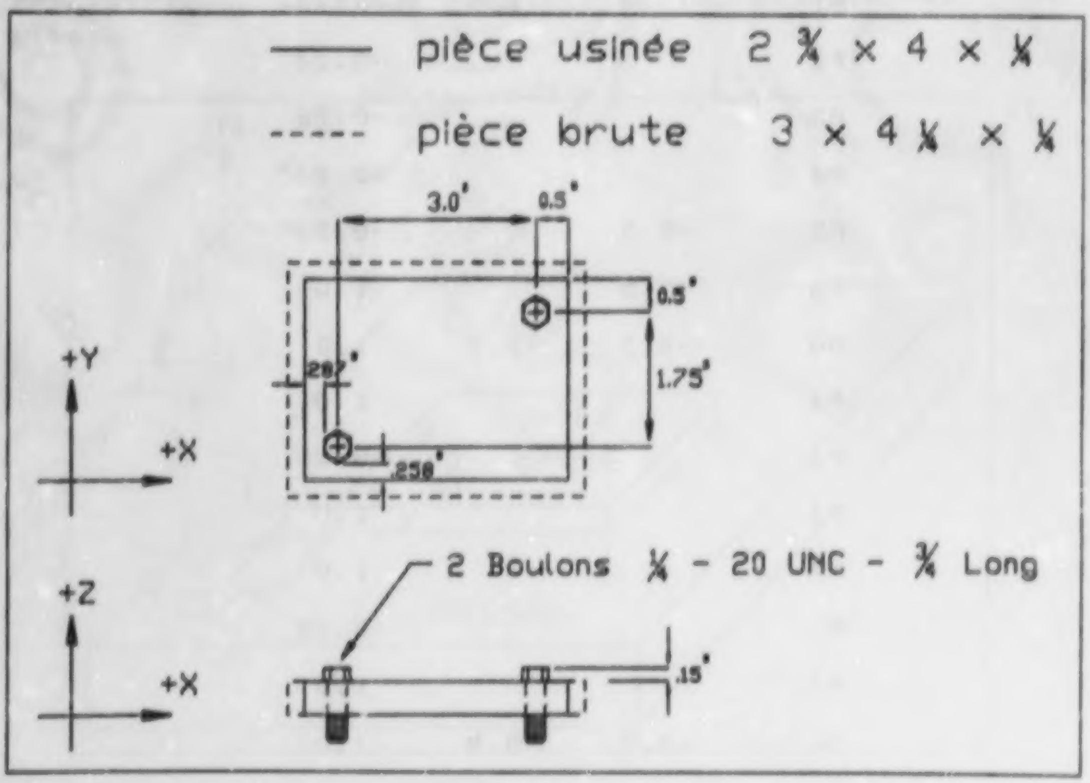


FIGURE F1.4

- Percez 2 trous de 9/32" de diamètre en coins opposés tels que montrés à la figure F1.4.

- Fixez la plaque avec 2 boulons à tête creuse hexagonale.

N.B. La table doit être munie d'un support quelconque fileté pour permettre aux boulons de serrer la plaque. Il est suggéré de fixer une plaque d'aluminium sur la table de la fraiseuse et de fixer la pièce sur la plaque d'aluminium. De cette façon, il est possible d'usiner à un niveau inférieur à la pièce sans usiner dans la table.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	-2.5	-0.5	1.0
P1		-1.0	1.0
P1		-1.0	-0.26
P2			-0.26
P3			-0.26
P4			-0.26
P5	-0.5		-0.26
P5	-0.5		1.0
Oo	-2.5	-0.5	1.0
P6			1.0
P6			-0.20
P6			1.0
P7			1.0
P7			-0.20
P7			1.0
Oo	-2.5	-0.5	1.0

Le carré

P6			1.0
P6			-0.35
P6			1.0
P7			1.0
P7			-0.35
P7			1.0
Oo	-2.5	-0.5	1.0

TABLEAU F1.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur boulonne la pièce brute à la fixation qui est sur la table de la fraiseuse. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute. Il descend l'outil jusqu'à ce que celui-ci soit appuyé sur la pièce.

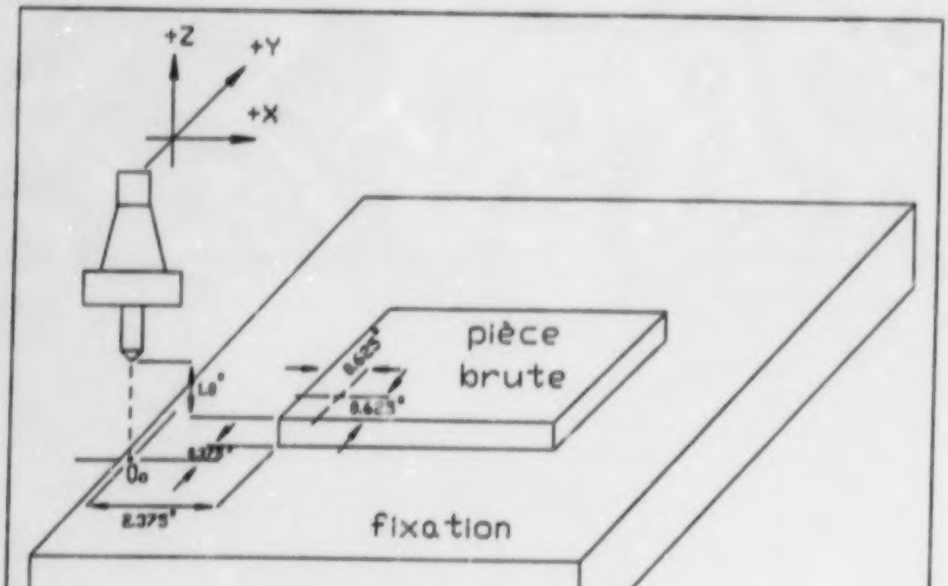


FIGURE F1.5

Il remonte l'outil de 1.0 po, puis le déplace au-dessus du boulon avant gauche sans mouvement dans la direction Z. Il déplace l'outil de 3.0 po dans la direction -X et de 1.0 po dans la direction -Y. Il pèse sur le bouton "SET HOME". Donc, il est prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur le bouton "START".

N.B. Il est fortement probable que les préparatifs diffèrent selon la MOCN utilisée.

PROJET DE FRAISAGE NO 2

LE CONTOURNAGE

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une plaque selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le millimètre.
- Programmation avec une compensation automatique du diamètre d'outil lors de l'ébauche et sans compensation automatique d'outil lors de la finition.
- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo).
- La programmation est en coordonnées absolues.

N.B. Nous comprenons que certaines spécifications obligent l'élève à utiliser une méthode compliquée alors qu'il existe des méthodes simples. Il faut alors ne pas oublier que le but premier de ces projets d'usinage est de faire apprendre la commande numérique et non d'usiner des pièces.

LE PLAN DE LA PIÈCE

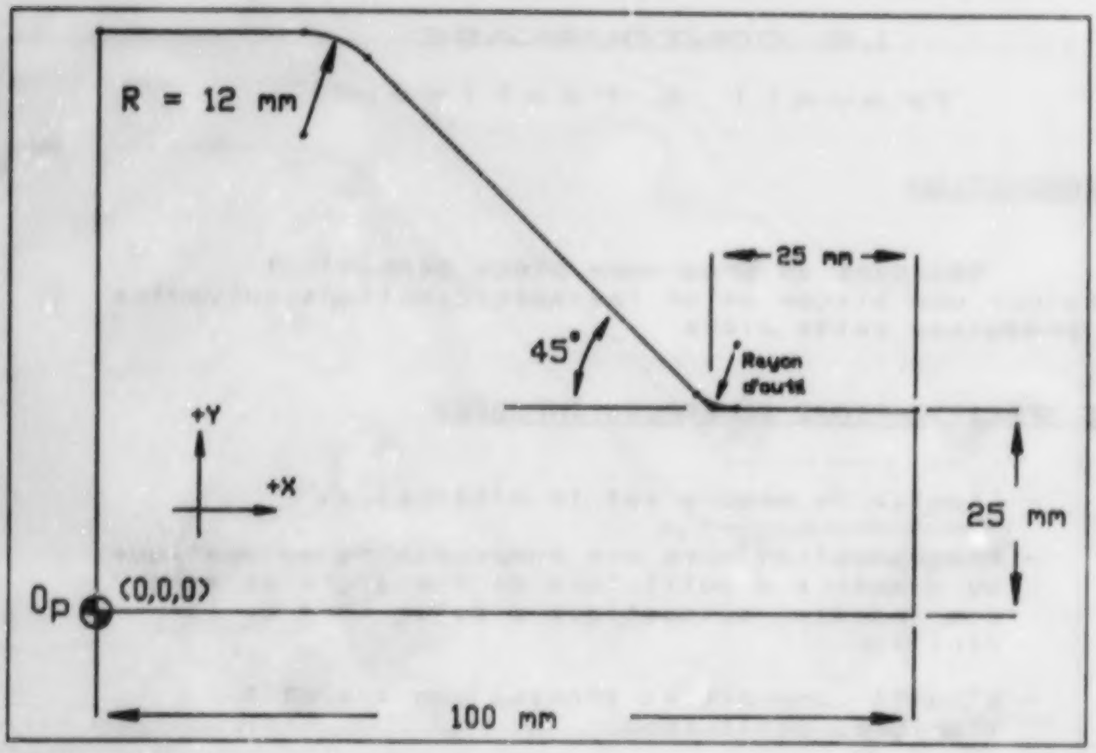


FIGURE F2.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: 75 * 100 * 5 mm.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

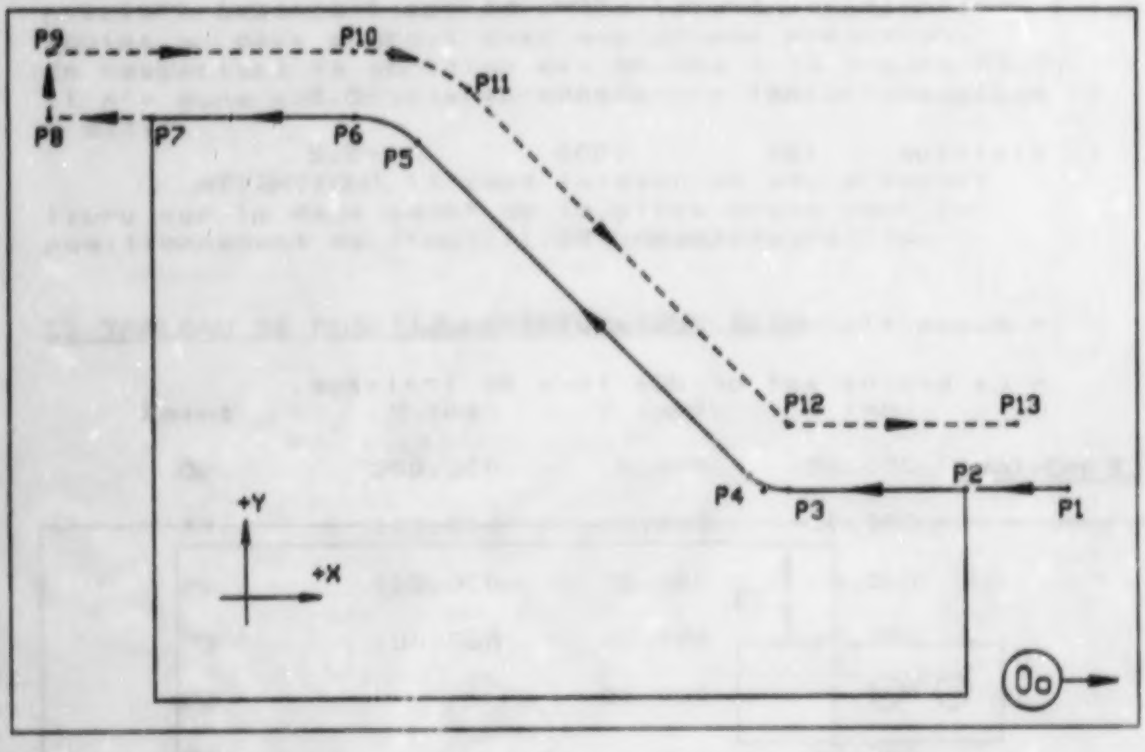


FIGURE F2.2

Oo est située à 50 mm au-dessus du niveau supérieur de la plaque.

1 - Fraisage du point P2 au point P7 avec une compensation d'outil automatique en laissant une surépaisseur de 1 mm sur toute la surface usinée.

2 - Fraisage du point P7 au point P2 sans compensation d'outil automatique pour exécuter la passe de finition.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Fraise à rainurer en bout à 2 dents, HSS, ϕ 16 mm

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil		Avance (mm/min)	RPM	Niveau Z minimal (mm)
1	ébauche	180	1200	-5.5
1	finition	150	1500	-5.5

TABLEAU F2.1

- Aucun fluide de coupe utilisé.
- La broche est bridée lors du fraisage.

LE MONTAGE

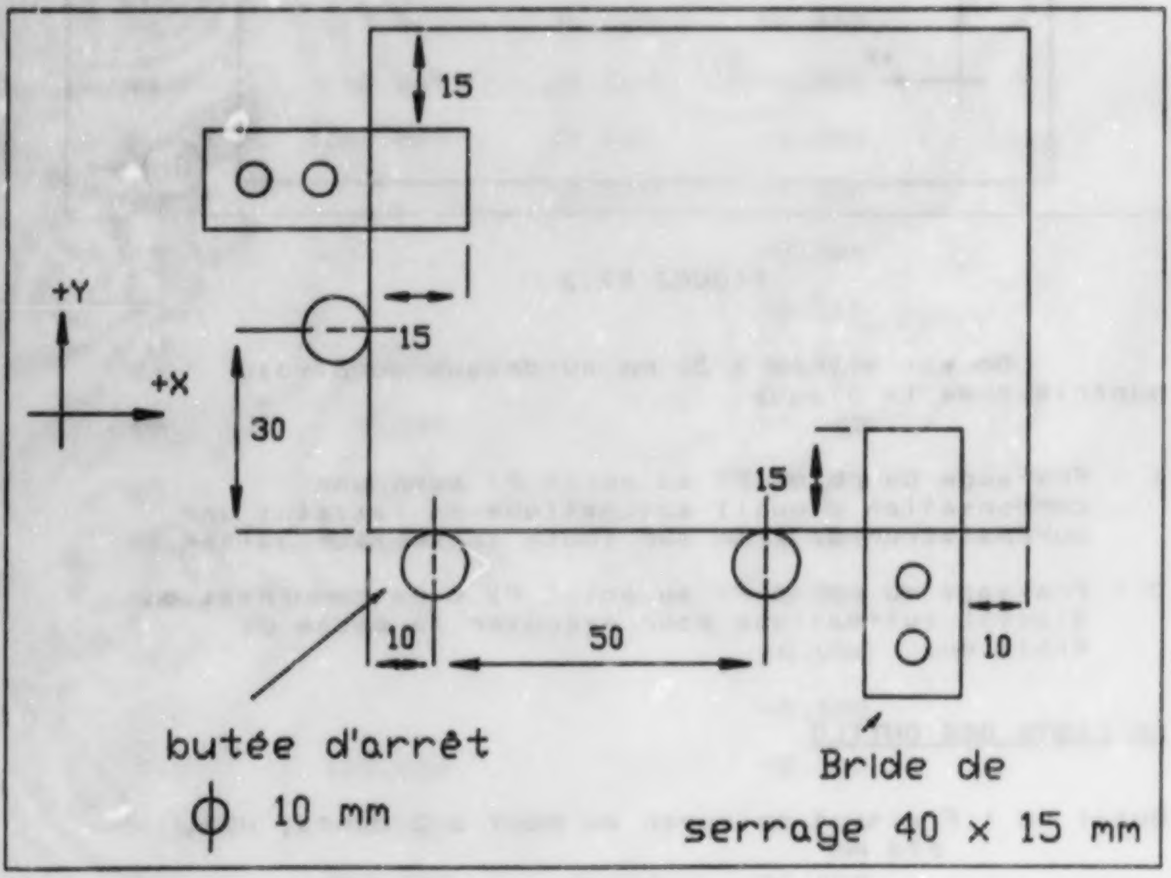


FIGURE F2.3

Le contournage

La pièce est fixée à la table par 2 brides de serrage (40 * 15 mm) et est appuyée contre 3 butées d'arrêt. Le système est fait de telle sorte que les pièces brutes puissent être facilement positionnées toutes au même endroit avec une grande précision. En respectant la position des brides à la figure F2.3, il n'y aura pas d'interférence entre les brides et l'outil.

ATTENTION! il faut laisser un peu d'espace libre sur la face avant de la pièce brute pour le positionnement de l'outil lors des préparatifs.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Oo	200.000	0.000	50.000
P1	112.000	25.000	50.000
P1	112.000	25.000	-5.500
P2	100.000	25.000	-5.500
P3		25.000	-5.500
P4			-5.500
P5			-5.500
P6	25.000		-5.500
P7	0.000		-5.500
P8	-12.000		-5.500
P9	-12.000		-5.500
P10			-5.500
P11			-5.500
P12			-5.500
P13	106.000		-5.500
P13	106.000		50.000
Oo	200.000	0.000	50.000

TABLEAU F2.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute sur la fixation qui est sur la table de la fraiseuse appuyée contre les butées d'arrêt et boulonne les brides de serrage à la fixation.

Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute. Il descend l'outil jusqu'à ce que celui-ci soit appuyé sur la pièce. Il lit alors la cote Z sur l'écran du DCN et sait que la cote Z du point de départ Oo est située à 50.0 mm au-dessus de la cote Z lue sur l'écran.

Il colle un bout de ruban gommé sur la face droite de la pièce brute et un autre sur la face avant. Il positionne l'outil à la droite du 1er bout de ruban à un niveau Z en dessous du haut de la pièce. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction -X. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote X sur l'écran du DCN. Il sait que la cote X du point de départ Oo est située à 92 mm (100 - d/2) à la droite de la cote X lue sur l'écran.

Il positionne l'outil en avant du 2e bout de ruban. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction +Y. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote Y sur l'écran du DCN. Il sait que la cote Y du point de départ Oo est située à 8 mm (d/2) en arrière de la cote Y lue sur l'écran.

Il connaît avec précision les cotes X, Y et Z du point de départ Oo. Il positionne l'outil au point Oo et pèse la touche "SET HOME". Donc, il est prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START". La 1re pièce brute doit avoir des dimensions exactes, puisque le positionnement tient compte des dimensions de cette pièce brute.

PROJET DE FRAISAGE NO 3

LE PIÉDESTAL

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une plaque selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le pouce.
- Programmation avec une compensation d'outil automatique.
- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo).
- La programmation est en coordonnées absolues.
- Le programme devra donner la possibilité à l'opérateur d'arrêter l'exécution entre chaque changement de compensation d'outil.

LE PLAN DE LA PIÈCE

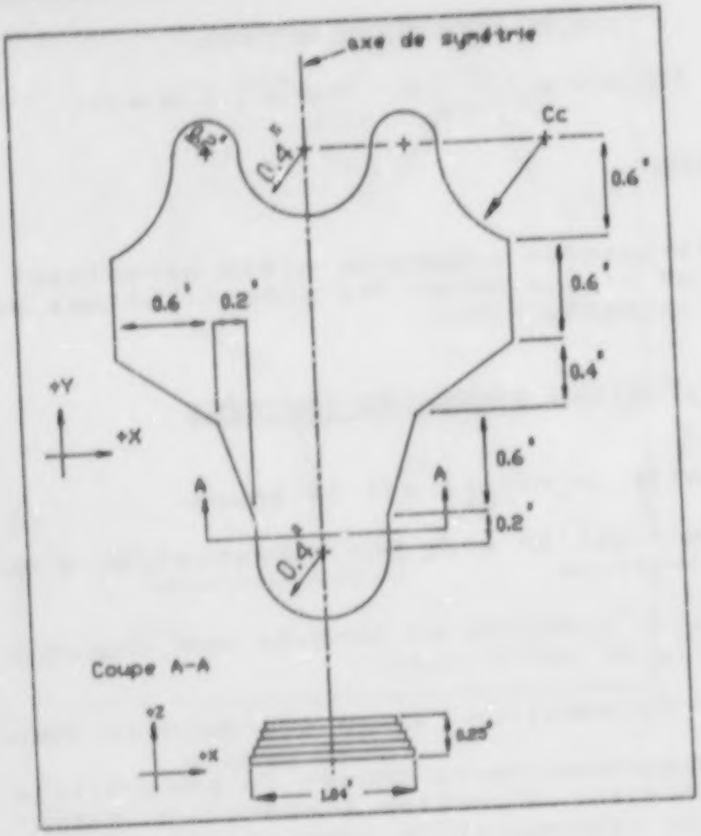


FIGURE F3.1

N.B. Sur la vue de plan, seulement la 1re passe est représentée. Les 4 autres passes sont omises dans le but de faciliter la lecture du plan.

Matériau: Acier 1010, roulé à froid, 200 BHN.

Dimensions brutes: 3.0 * 3 1/2 * 1/4 po.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

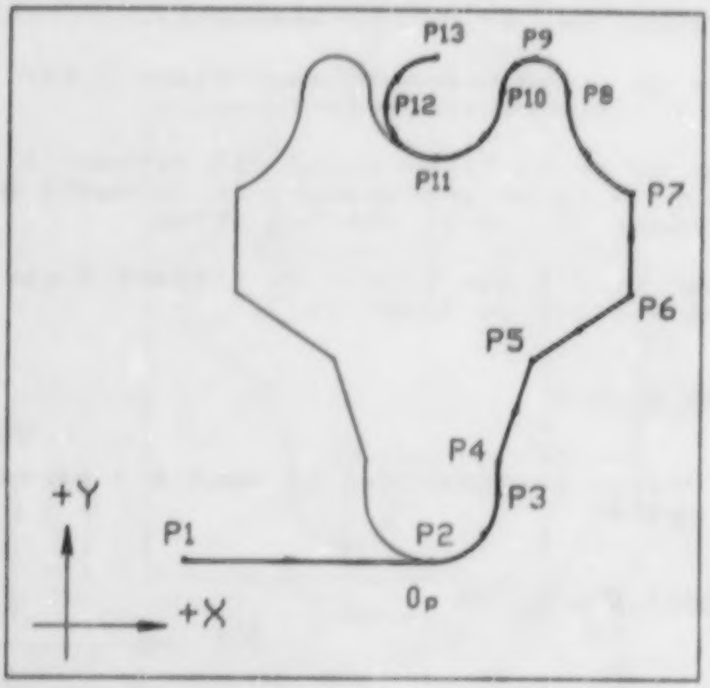


FIGURE F3.2

1 - Fraisage du point P1 au point P13 suivant l'itinéraire à 0.05 po de profondeur, en ne laissant aucune surépaisseur sur les côtés.

2 - Fraisage de l'image miroir de l'étape 1 par rapport à l'axe de symétrie Y.

3 - Fraisage du point P1 au point P13 suivant l'itinéraire à 0.1 po de profondeur, en laissant une surépaisseur de .03 po sur les côtés.

4 - Fraisage de l'image miroir de l'étape 3 par rapport à l'axe de symétrie Y.

5 - Fraisage du point P1 au point P13 suivant l'itinéraire à 0.15 po de profondeur, en laissant une surépaisseur de .06 po sur les côtés.

6 - Fraisage de l'image miroir de l'étape 5 par rapport à l'axe de symétrie Y.

7 - Fraisage du point P1 au point P13 suivant l'itinéraire à 0.2 po de profondeur, en laissant une surépaisseur de .09 po sur les côtés.

8 - Fraisage de l'image miroir de l'étape 7 par rapport à l'axe de symétrie Y.

9 - Fraisage du point P1 au point P13 suivant l'itinéraire à 0.26 po de profondeur, en laissant une surépaisseur de .12 po sur les côtés.

10 - Fraisage de l'image miroir de l'étape 9 par rapport à l'axe de symétrie Y.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Fraise périphérique en bout à 4 dents, HSS, ϕ 1/4"

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/min)	RPM	Niveau Z minimal (po)
1 1re passe	8.0	1900	-0.05
1 2e passe	8.0	1900	-0.10
1 3e passe	8.0	1900	-0.15
1 4e passe	8.0	1900	-0.20
1 5e passe	8.0	1900	-0.26

TABLEAU F3.1

- Le fluide de coupe coule.
- La broche est bridée lors du fraisage.

LE MONTAGE

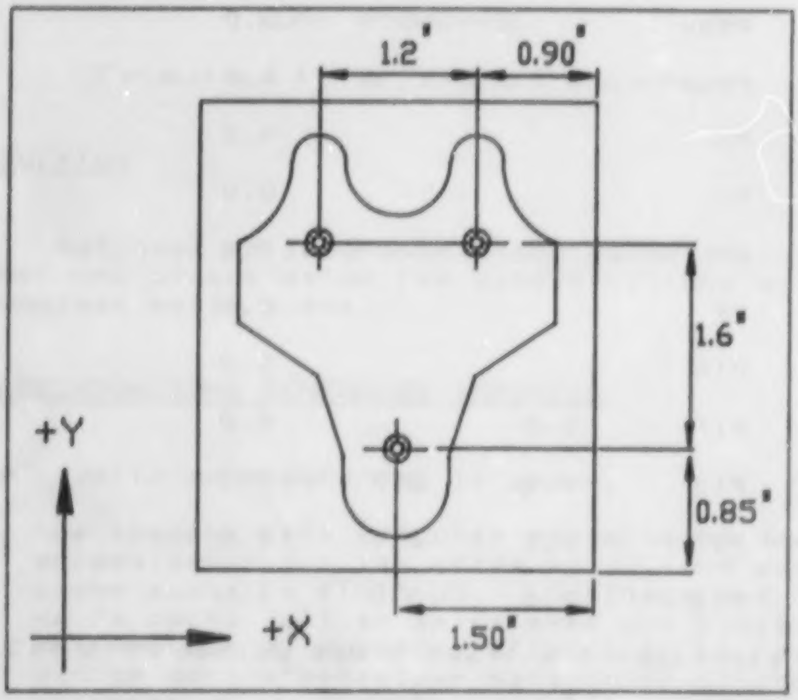


FIGURE F3.3

- Percez 3 trous avec un foret no 30 (ϕ = 0.128") aux positions indiquées à la figure F3.3.
- Fixez la plaque avec 3 boulons à tête creuse hexagonale no 5, (ϕ = 1/8").

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	4.0	-2.0	1.0
P1	-1.7	0.0	1.0
P1	-1.7	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0
P3			0.0
P4av			0.0

P4ap			0.0
P5av			0.0
P5ap			0.0
P6			0.0
P7			0.0
P8			0.0
P9			0.0
P10			0.0
P11	0.0		0.0
P12	-0.3	2.7	0.0
P13	0.0	3.0	0.0
P13	0.0	3.0	1.0

Symétrie par rapport à l'axe Y des points P1 à P13.

Oo	4.0	-2.0	1.0

Répétition pour les 4 autres passes.

TABLEAU F3.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur boulonne la pièce brute à la fixation qui est sur la table de la fraiseuse. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute.

Il place un bout de papier sur la pièce juste en dessous de l'outil et il descend l'outil lentement jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il remonte l'outil de Z=1.0 po, puis le déplace au-dessus du boulon avant.

Il le déplace ensuite de 4.0 po dans la direction +X et de 2.6 po dans la direction -Y. Il pèse sur la touche "SET HOME".

S'il veut arrêter l'exécution du programme pièce entre chaque passe, il doit peser la touche "OP STOP" pour l'activer. Donc, il est prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

PROJET DE FRAISAGE NO 4

LA POCHE

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une plaque selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le pouce.
- Une ébauche sera exécutée en laissant une surépaisseur sur les côtés et au fond de la poche avant la finition. L'usinage des côtés de la poche doit se faire avec une compensation automatique du diamètre d'outil et le reste du vidage doit s'effectuer sans compensation automatique du diamètre d'outil.
- Le programme devra permettre d'usiner une série de pièces, avec ou sans trou, au choix.
- L'usinage du trou devra s'exécuter avec une approche unidirectionnelle.
- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo) qui est située à 3.0 po à la gauche et 2.0 po en avant du coin avant gauche de la pièce usinée.
- La programmation est en coordonnées absolues.

LE PLAN DE LA PIÈCE

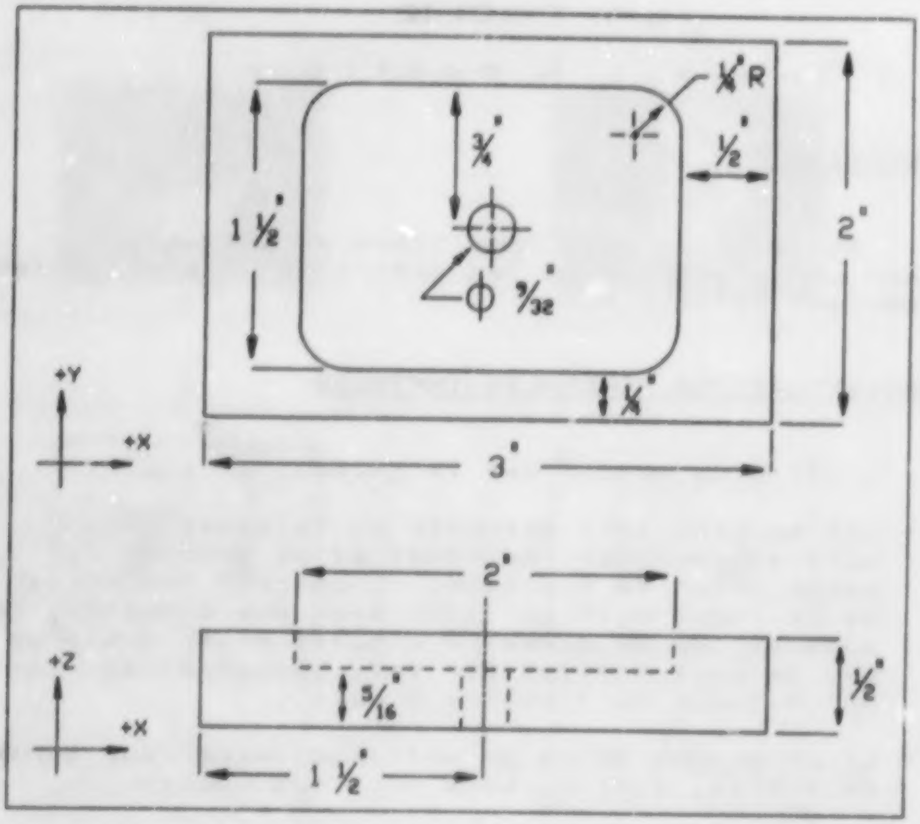


FIGURE F4.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: 2 * 3 * 1/2 po.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

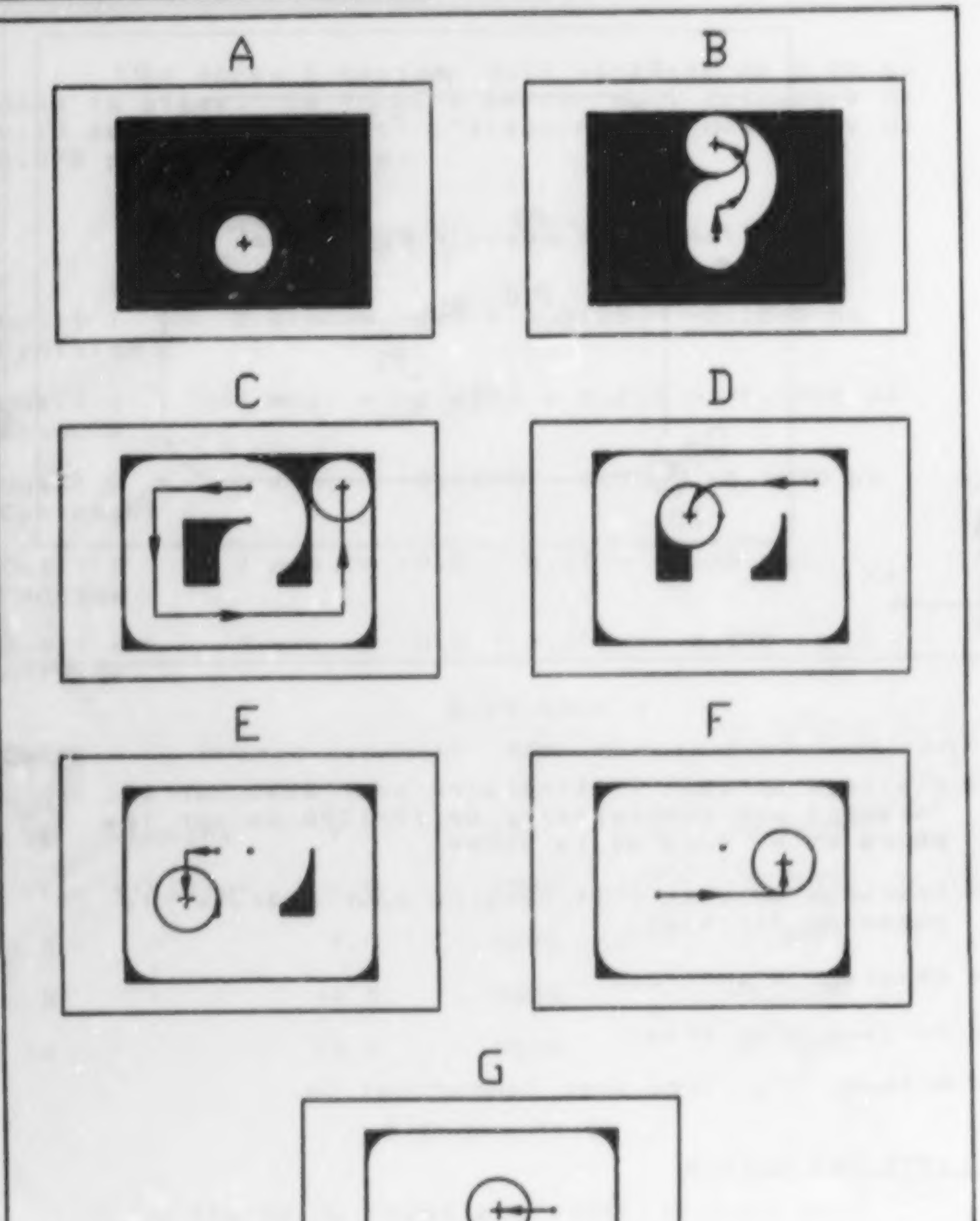


FIGURE F4.2

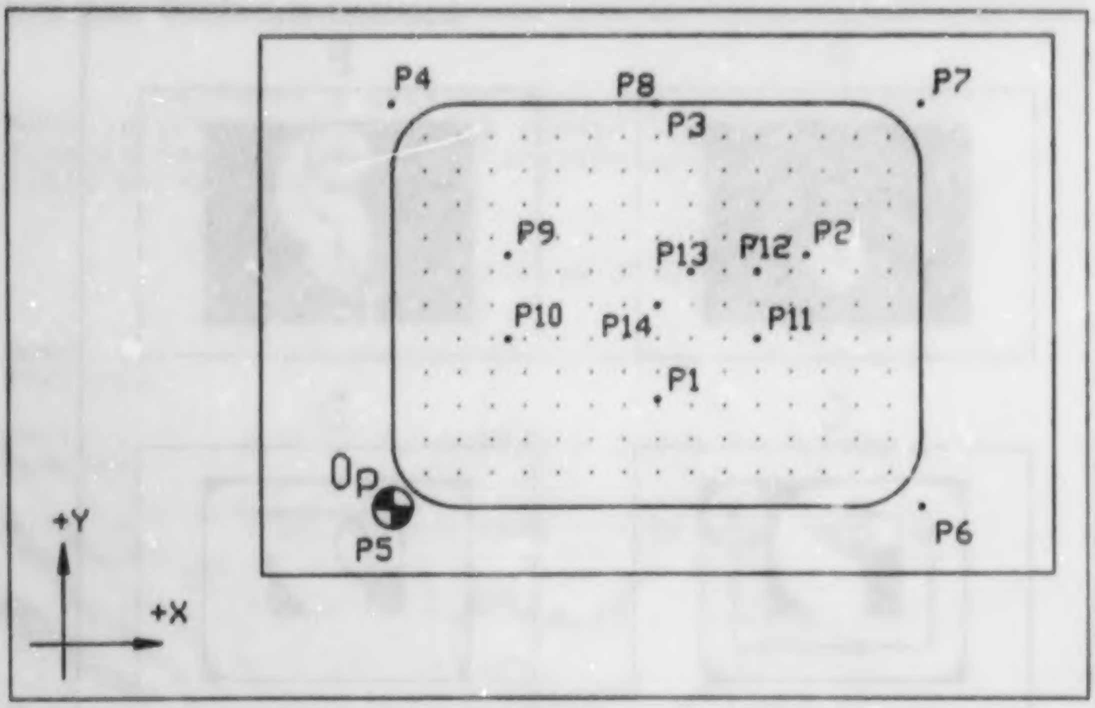


FIGURE F4.3

1 - Fraisage suivant l'itinéraire pour ébaucher en laissant une surépaisseur de 15/1000 po sur les côtés et au fond de la poche.

2 - Fraisage suivant l'itinéraire pour exécuter la passe de finition.

3 - Centrage d'un trou.

4 - Perçage d'un trou.

5 - Alésage d'un trou avec temporisation.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Fraise à rainurer en bout à 2 dents, HSS, ϕ1/2"

Outil no 2 Mèche à centrer no 2, HSS

Outil no 3 Foret à percer, HSS, ϕ15/64"

Outil no 4 Alésoir à flûte droite, HSS, ϕ1/4"

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Le foret à centrer doit pénétrer de 0.20 po dans la pièce. Le foret à percer doit descendre de 0.15 po sous la pièce. L'alésoir doit descendre de 0.075 po sous la pièce.

Calcul des niveaux Z minimal.

Outil 1 Finition	Z min. = -0.5 + 0.3125 = -0.1875 po
Outil 1 Ébauche	Z min. = -0.1875 + 0.015 = -0.1725 po
Outil 2 Centrage	Z min. = -0.1875 - 0.20 = -0.3875 po
Outil 3 Perçage	Z min. = -0.5 - 0.15 = -0.65 po
Outil 4 Alésage	Z min. = -0.5 - 0.075 = -0.575 po

Outil		Avance (po/min)	RPM	Niveau Z minimal (po)
1	ébauche	9.0	1500	-0.1725
1	finition	7.5	1900	-0.1875
2		4.0	4200	-0.3875
3		14.0	2800	-0.6500
4		15.0	3000	-0.5750

TABLEAU F4.1

- Le fluide de coupe est vaporisé lors du fraisage et coule lors du centrage, du perçage et de l'alésage.

- La broche est bridée lors du fraisage.

LE SCHÉMA DES OUTILS

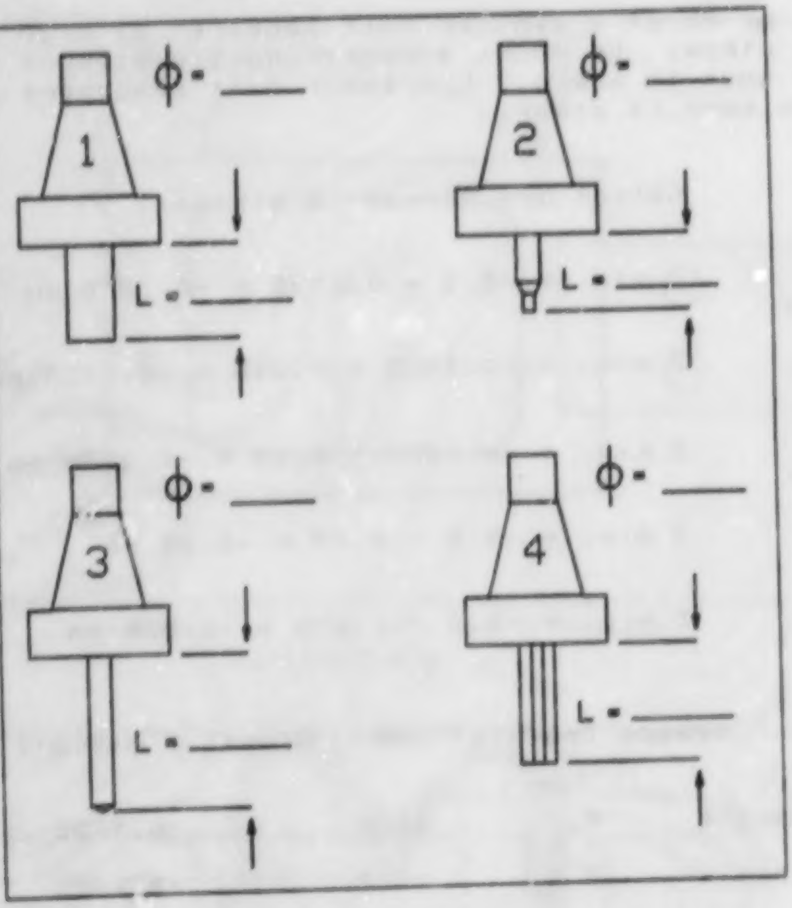


FIGURE F4.4

LE MONTAGE

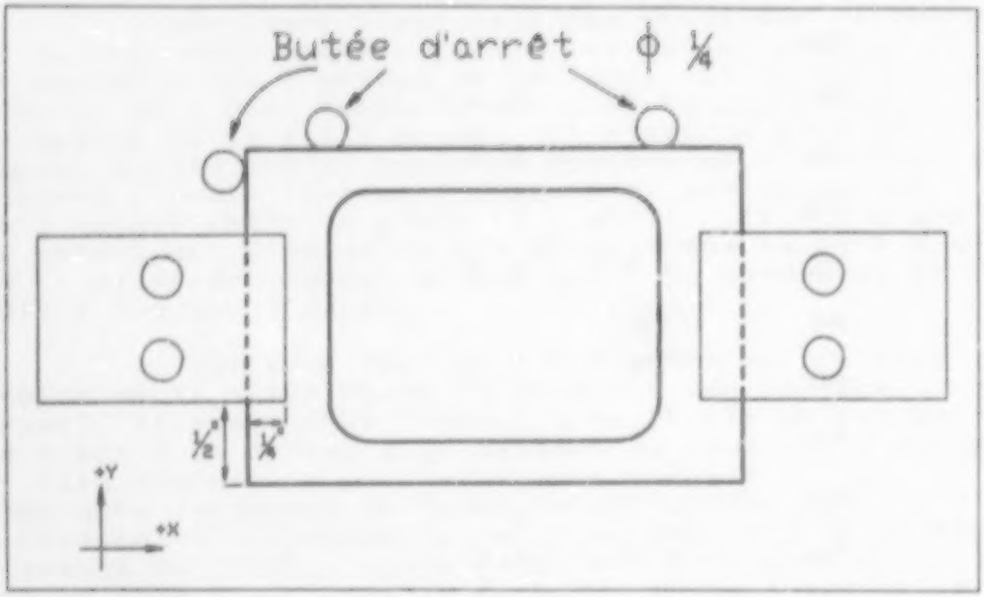


FIGURE F4.5

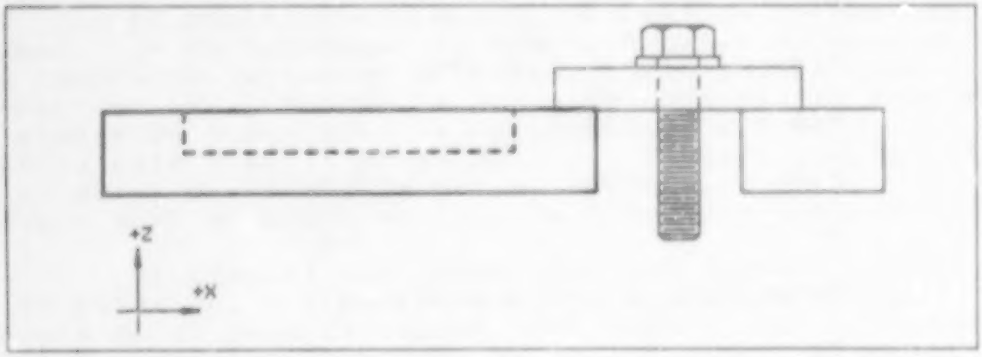


FIGURE F4.6

La pièce est fixée à la table par 2 brides de serrage et est appuyée contre 3 butées d'arrêt. En respectant la position des brides à la figure F4.5, il n'y a pas d'interférence entre les brides et l'outil.

ATTENTION! il faut laisser, lors des préparatifs, un peu d'espace sur la face droite de la pièce brute pour le positionnement de l'outil.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo			2.0
P1	1.0	0.4	2.0
P1	1.0	0.4	
P2			
P3	1.0	1.5	
P4			
P5			
P6			
P7			
P8	1.0	1.5	
P9	0.45		
P10		0.625	
P11	1.375		
P12		0.875	
P13	1.125		
P13	1.125		2.0
Oo			2.0
Répétition pour la finition.			
Oo			2.0
P14			2.0
P14			
P14			2.0
Oo			2.0

Répétition pour le perçage.

Répétition pour l'alésage.

TABLEAU F4.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur place la pièce brute sur la table de la fraiseuse appuyée contre les butées d'arrêt et il boulonne les 2 brides de serrage. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute. Il place un bout de papier sur la pièce, juste en dessous de l'outil et il descend l'outil lentement jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z sur l'écran du DCN et sait que la cote Z du point de départ Oo est située à 2.0 po au-dessus de la cote Z lue sur l'écran.

Il colle un bout de ruban gommé sur la face droite de la pièce brute et un autre sur la face avant. Il positionne l'outil à la droite du 1er bout de ruban à un niveau Z en dessous du haut de la pièce. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction -X. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote X sur l'écran du DCN. Il sait que la cote X du point de départ Oo est située à 6.25 po (3 + 3 + d/2) à la gauche de la cote X lue sur l'écran.

Il positionne l'outil en avant du 2e bout de ruban. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction +Y. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote Y sur l'écran du DCN. Il sait que la cote Y du point de départ Oo est située à 1.75 po (2.0 - d/2) en avant de la cote Y lue sur l'écran.

Il connait avec précision les cotes X, Y et Z du point Oo. Il positionne l'outil au point de départ Oo et pèse la touche "SET HOME". Donc, il est prêt à commercer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

La 1re pièce brute doit avoir des dimensions exactes, puisque le positionnement tient compte des dimensions de cette pièce brute. Si l'opérateur désire usiner la poche sans percer de trou, les préparatifs sont les mêmes, sauf qu'il doit en premier lieu, soit entrer le code G28 avant et un autre après les lignes précédées d'un "/" ou bien peser sur le commutateur "SLASH DELETE" pour l'activer.

PROJET DE FRAISAGE NO 5

LE PERÇAGE

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une plaque selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo) qui est située à 3.0 po à la gauche et 3.0 po en avant du coin avant gauche de la pièce brute.
- Le perçage des trous se fera en coordonnées incrémentales.
- Calculez avant d'usiner la pièce, le temps approximatif d'usinage.

N.B. Pour le calcul du temps approximatif d'usinage, la formule suivante vous sera utile.

$$\text{Temps d'usinage (minute)} = \frac{\text{Distance parcourue par l'outil (po)}}{\text{Vitesse d'avance (po/min)}}$$

LE PLAN DE LA PIÈCE

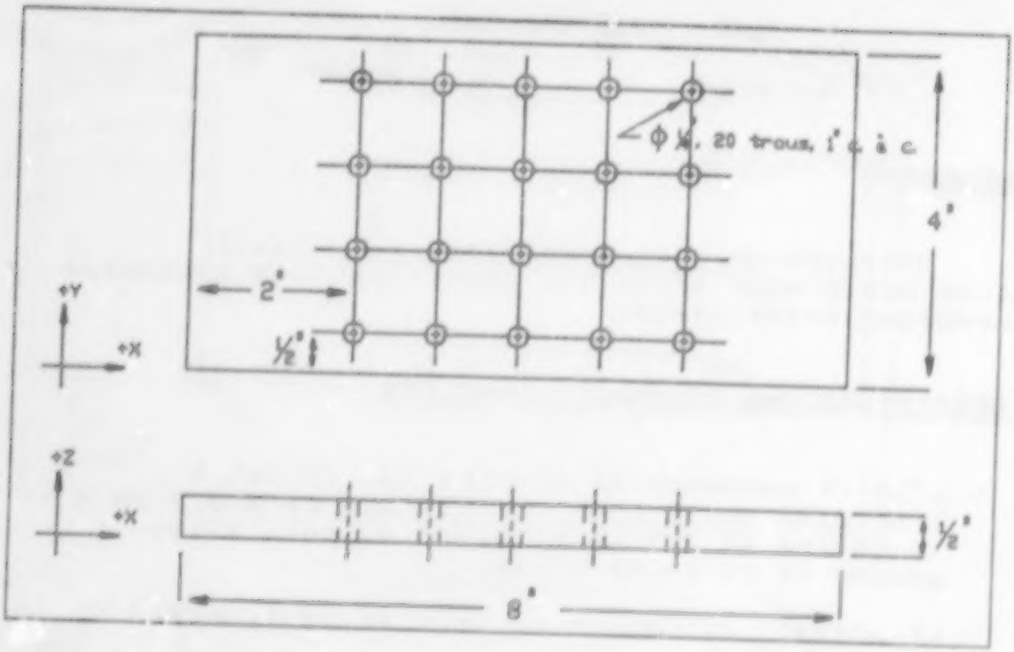


FIGURE F5.1

Matériau: Acier 1010, roulé à froid, 200 BHN.

Dimensions brutes: 4 * 8 * 1/2 po.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

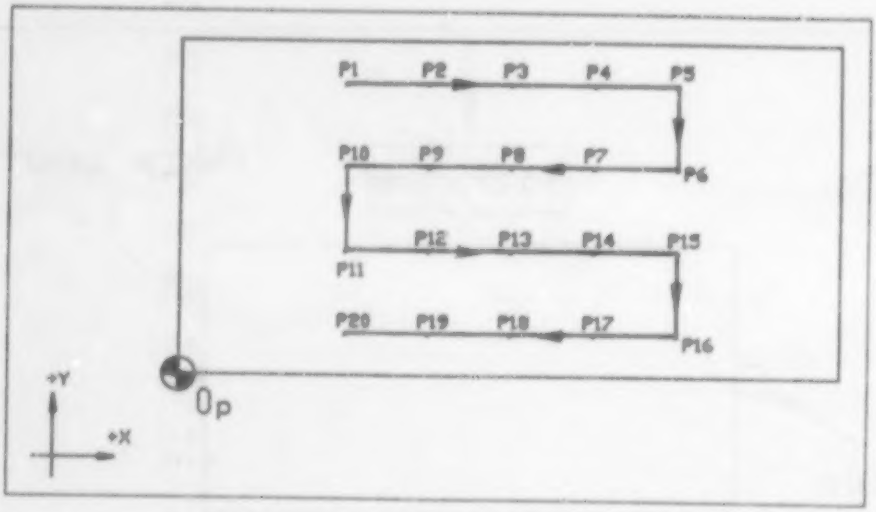


FIGURE F5.2

1 - Perçage de 20 trous suivant l'itinéraire.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Foret à percer, HSS, ϕ1/4"

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/min)	RPM	Niveau Z minimal (po)
1	6.0	1200	-0.60

TABLEAU F5.1

- Le fluide de coupe coule.

LE MONTAGE

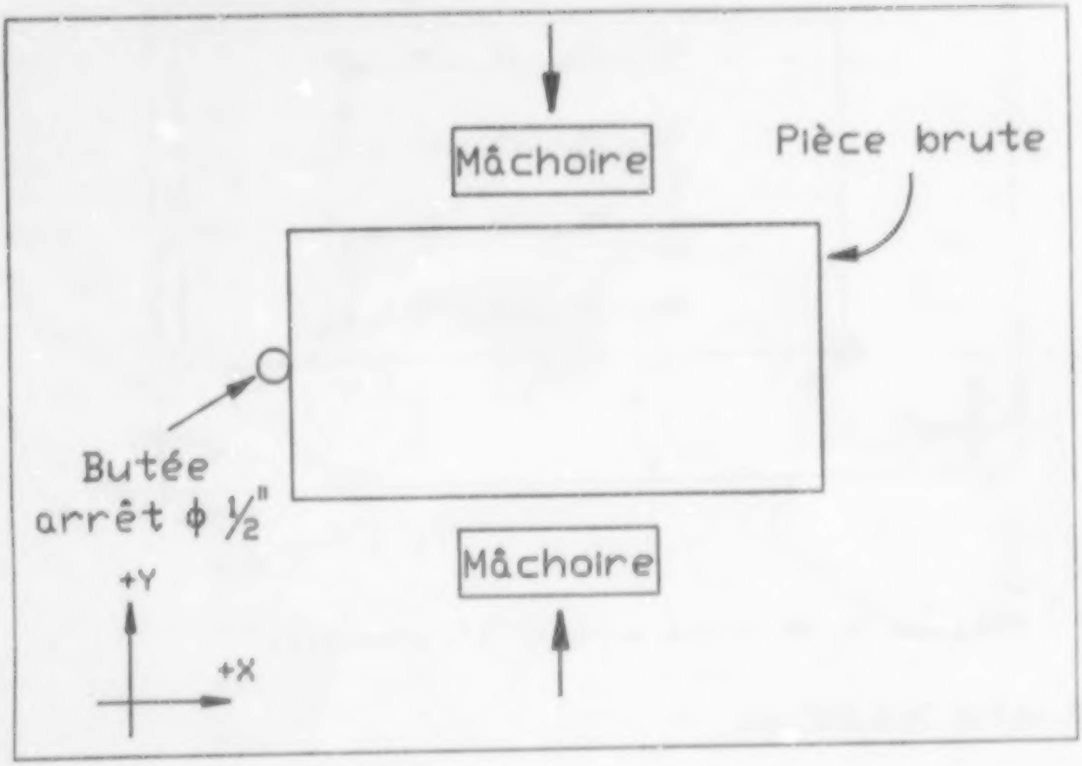


FIGURE F5.3

La pièce est fixée à la table à l'aide d'un étau et est appuyée sur une butée d'arrêt.

ATTENTION! il faut que la partie supérieure de la pièce brute soit au même niveau ou au-dessus de la partie supérieure des mâchoires de l'étau.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo			1.0
P1			1.0
P1			

P1

P2

P2

P2

P3

P3

P3

P4

:

:

:

P19

P19

P19

P20

P20

P20

Oo

TABLEAU F5.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur serre la pièce brute dans l'étau qui est sur la table de la fraiseuse, appuyée contre les butées d'arrêt. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute. Il descend l'outil jusqu'à ce que celui-ci soit appuyé sur la pièce brute. Il lit alors la cote Z sur l'écran du DCN et sait que la cote Z du point de départ Oo est située à 1.0 po au-dessus de la cote Z lue sur l'écran.

Il colle un bout de ruban gommé sur la face droite de la pièce brute et un autre sur la face avant. Il positionne l'outil à la droite du 1er bout de ruban à un niveau Z en dessous du haut de la pièce. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction -X. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote X sur l'écran du DCN. Il sait que la cote X du point de départ Oo est située à 11.125 po (3 + 8 + d/2) à la gauche de la cote X lue sur l'écran.

Il positionne l'outil en avant du 2e bout de ruban. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction +Y. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote Y sur l'écran du DCN. Il sait que la cote Y du point de départ Oo est située à 2.875 po (3 - d/2) en avant de la cote Y lue sur l'écran.

Il connaît avec précision les cotes X, Y et Z du point Oo. Il positionne l'outil au point de départ Oo et pèse la touche "SET HOME". Donc, il est prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START". La 1re pièce brute doit avoir des dimensions exactes, puisque le positionnement tient compte des dimensions de cette pièce brute.

PROJET DE FRAISAGE NO 6

LE "S"

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner 3 plaques selon les spécifications suivantes et produisez ces pièces.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo) qui est située à 1.0 po à la droite et 3.0 po en avant du coin avant gauche de la pièce brute la plus à gauche.
- Trois pièces identiques seront usinées en parallèle.
- Une ébauche de la surface extérieure de chaque pièce sera exécutée en laissant une surépaisseur sur les côtés, avant une passe de finition exécutée par le même outil.
- Une ébauche de la surface intérieure sera exécutée en laissant une surépaisseur sur les côtés. La finition sera exécutée par un outil de plus gros diamètre.
- Après avoir calculé le temps d'usinage des 3 pièces, calculez, sans usiner de pièce, le temps approximatif pour usiner une seule pièce et comparez le temps requis pour usiner les 3 pièces, une à la fois, avec le temps requis pour usiner les 3 pièces en parallèle.

LE PLAN DE LA PIÈCE

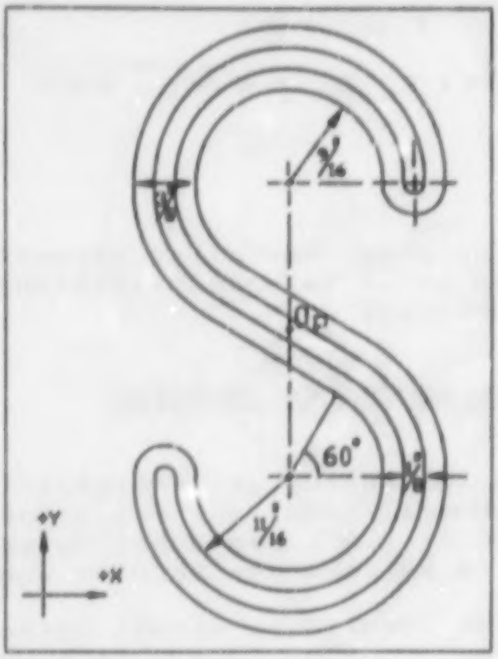


FIGURE F6.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: 2 * 4 * 1/2 po.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

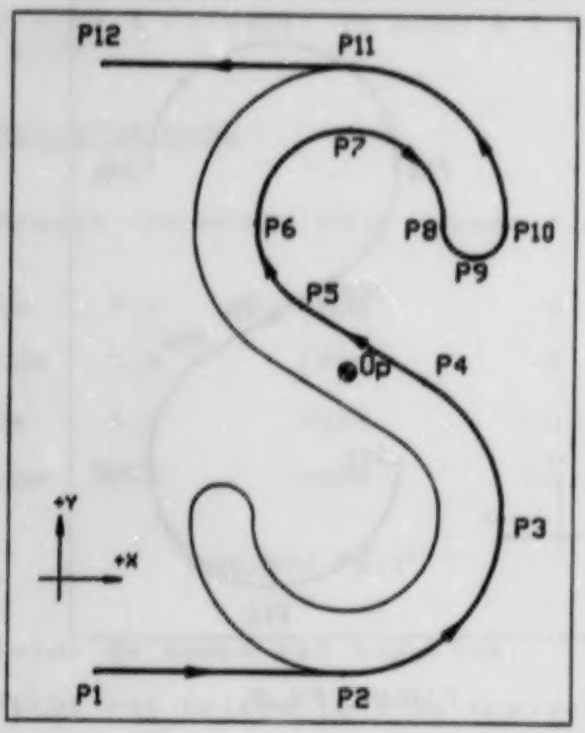


FIGURE F6.2

1 - Fraisage du point P1 au point P12 avec l'outil no 1 pour ébaucher l'extérieur du côté droit du "S" de la pièce no 1 en laissant une surépaisseur de 15/1000 po sur le côté et au bas. Par symétrie, fraisage pour ébaucher le côté gauche.

2 - Fraisage du point P1 au point P12 pour exécuter la passe de finition extérieure du côté droit de la pièce no 1. Par symétrie, fraisage pour finir le côté gauche.

3 - Répétition des étapes 1 et 2 pour la pièce no 2.

4 - Répétition des étapes 1 et 2 pour la pièce no 3.

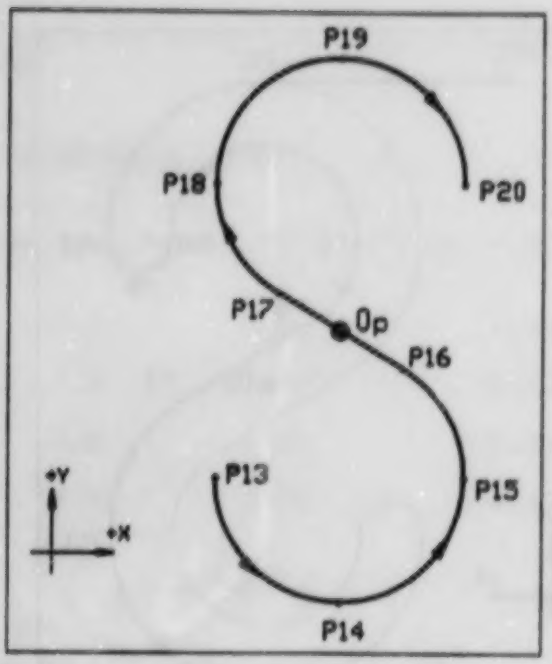


FIGURE F6.3

5 - Fraisage du point P13 au point P20 avec l'outil no 2 pour ébaucher l'intérieur du "S" en laissant une surépaisseur de 1/64 po sur chaque côté et au bas sur la pièce no 1.

6 - Répétition de l'étape 5 pour la pièce no 2.

7 - Répétition de l'étape 5 pour la pièce no 3.

8 - Fraisage du point P13 au point P20 avec l'outil no 3 pour exécuter la passe de finition intérieure sur la pièce no 1.

9 - Répétition de l'étape 8 pour la pièce no 2.

10 - Répétition de l'étape 8 pour la pièce no 3.

<u>LA LISTE DES OUTILS</u>

Outil no 1 Fraise à rainurer en bout à 2 dents, HSS, ϕ1/2"

Outil no 2 Fraise à rainurer en bout à 2 dents, HSS, ϕ3/32"

Outil no 3 Fraise à rainurer en bout à 2 dents, HSS, ϕ1/8"

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil		Avance (po/min)	RPM	Niveau Z minimal (po)
1	ébauche	9.0	1500	-0.110
1	finition	7.5	1900	-0.125
2	ébauche	6.0	4200	-0.110
3	finition	4.5	4200	-0.125

TABLEAU F6.1

- Le fluide de coupe est vaporisé.
- La broche est bridée lors du fraisage.

LE SCHÉMA DES OUTILS

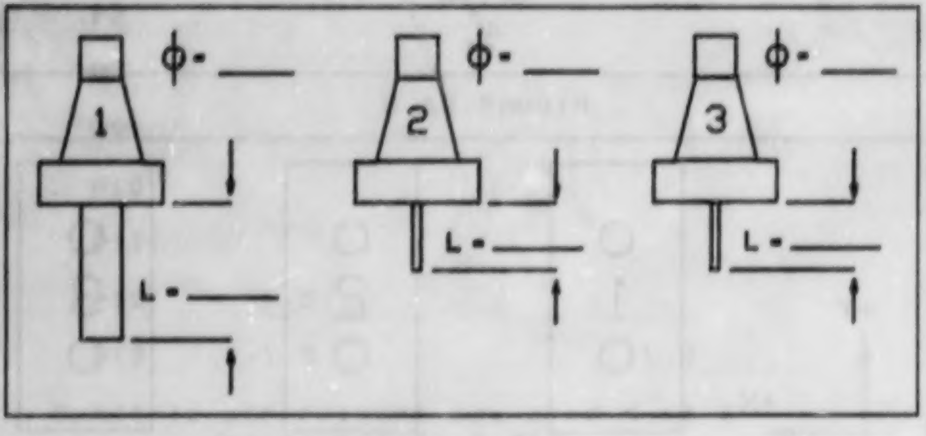


FIGURE F6.4

LE MONTAGE

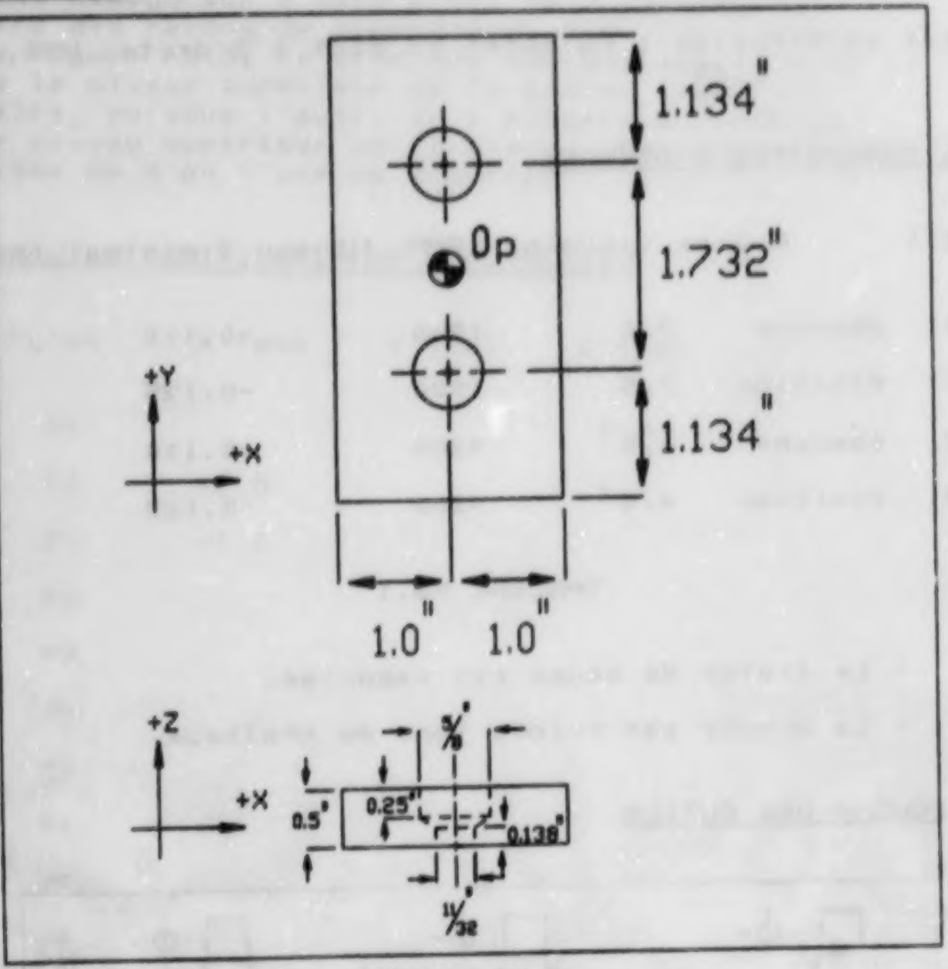


FIGURE F6.5

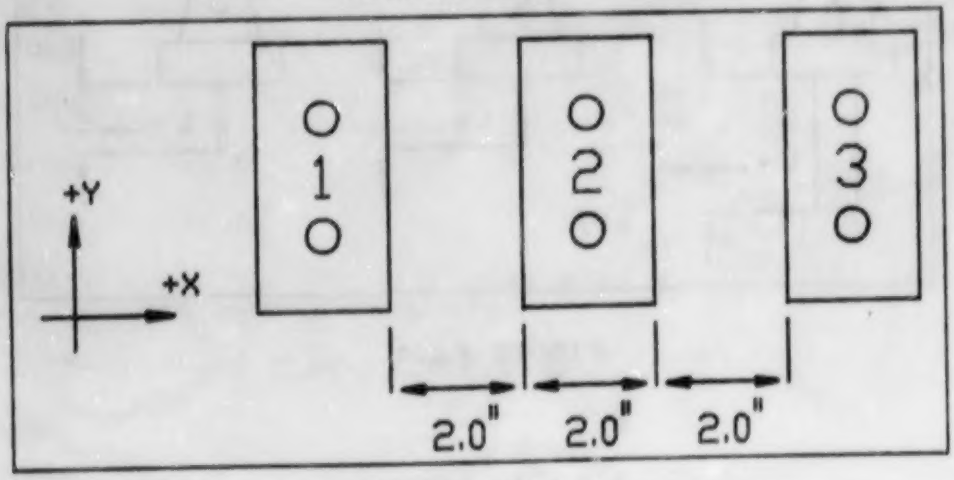


FIGURE F6.6

Le "S"

Les pièces sont fixées à la table, chacune par 2 boulons hexagonaux à tête plate no 8 positionnés au centre des rayons de courbure du "S". En respectant la figure F6.5, la tête des boulons sera à 0.25 po sous le niveau supérieur de la pièce. Ceci est nécessaire, puisque l'outil no 1 passera à 0.125 po sous le niveau supérieur de la pièce. Les pièces sont distancées de 4 po l'une de l'autre.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo			1.0
P1	-1.5		1.0
P1	-1.5		
P2			
P3			
P4			
P5			
P6			
P7			
P8			
P9			
P10			
P11			
P12	-1.5		
P12	-1.5		1.0

Symétrie par rapport aux axes X et Y des points P1 à P12.

Répétition pour la finition.

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo			1.0
P13			1.0

P13	
P14	
P15	
P16	
P17	
P18	
P19	
P20	
P20	1.0
Oo	1.0

Répétition pour la finition.

TABLEAU F6.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur boulonne les 3 pièces brutes à la fixation qui est sur la table de la fraiseuse. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la 1re pièce brute. Il place un bout de papier sur la pièce juste en dessous de l'outil et il descend l'outil lentement jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z sur l'écran du DCN et sait que la cote Z du point de départ Oo est située à 1.0 po au-dessus de la cote Z lue sur l'écran.

Il colle un bout de ruban gommé sur la face gauche de la pièce brute et un autre sur la face avant. Il positionne l'outil à la gauche du 1er bout de ruban à un niveau Z en dessous du haut de la pièce. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction +X. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote X sur l'écran du DCN. Il sait que la cote X du point de départ Oo est située à 1.25 po (1.0 + d/2) à la droite de la cote X lue sur l'écran.

Il positionne l'outil en avant du 2e bout de ruban. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction +Y. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote Y sur l'écran du DCN. Il sait que la cote Y du point de départ Oo est située à 2.75 po (3.0 - d/2) en avant de la cote Y lue sur l'écran.

Il connaît avec précision les cotes X, Y et Z du point Oo. Il positionne l'outil au point de départ Oo et pèse la touche "SET HOME". Donc, il est prêt à commencer l'usinage des 3 premières pièces en pesant sur "START". La 1re pièce brute doit avoir des dimensions exactes, puisque le positionnement tient compte des dimensions de cette pièce brute.

PROJET DE FRAISAGE NO 7

LA CROIX

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner un bloc selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo) qui est située à 6.0 po à la droite du centre de la pièce brute et à 1.0 po au-dessus de la partie supérieure de la pièce brute.

LE PLAN DE LA PIÈCE

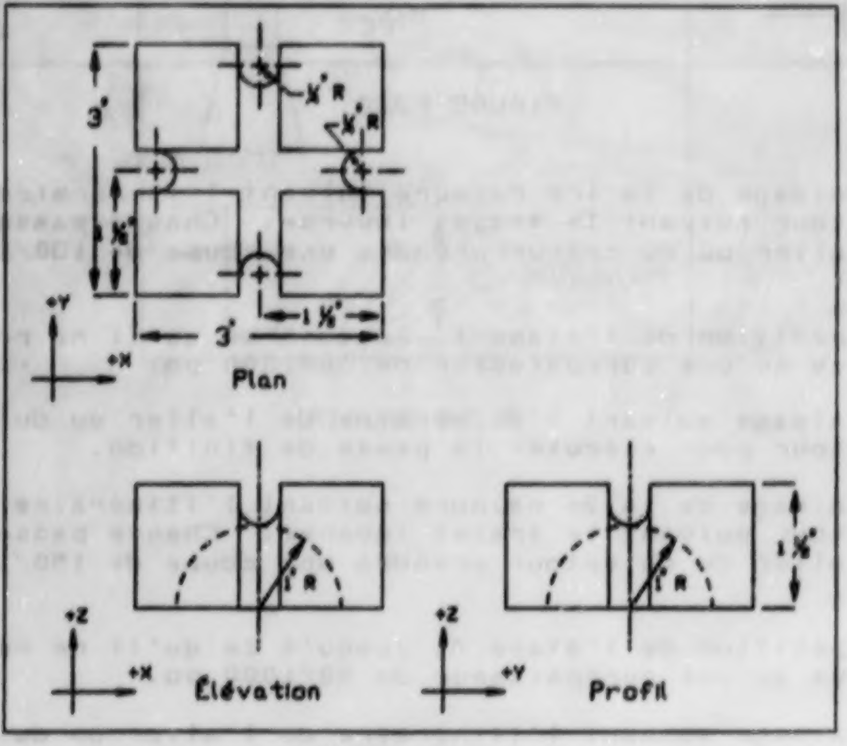


FIGURE F7.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: 3 * 3 * 1 1/2 po.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

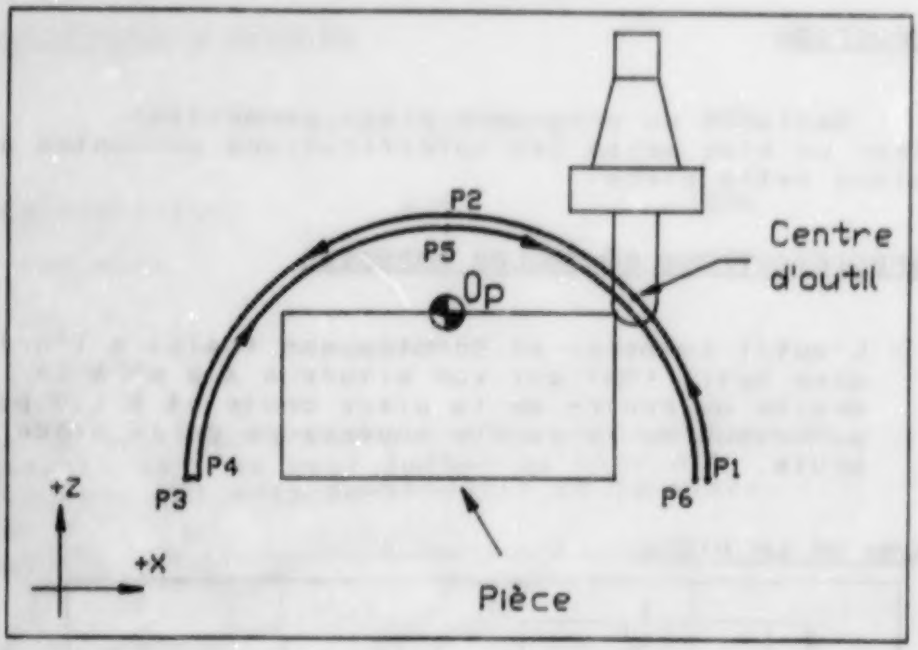


FIGURE F7.2

1 - Fraisage de la 1re rainure suivant l'itinéraire et retour suivant le trajet inverse. Chaque passe de l'aller ou du retour prendra une coupe de 150/1000 po.

2 - Répétition de l'étape 1, jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une surépaisseur de 50/1000 po.

3 - Fraisage suivant l'itinéraire de l'aller ou du retour pour exécuter la passe de finition.

4 - Fraisage de la 2e rainure suivant l'itinéraire et retour suivant le trajet inverse. Chaque passe de l'aller ou du retour prendra une coupe de 150/1000 po.

5 - Répétition de l'étape 4, jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une surépaisseur de 50/1000 po.

6 - Fraisage suivant l'itinéraire de l'aller ou du retour pour exécuter la passe de finition.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Fraise à rainurer en forme de balle à 2 dents, HSS, ϕ1/2"

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/min)	RPM
1 dégrossissage	6.0	1500
1 finition	5.0	1900

TABLEAU F7.1

L'outil doit émerger d'au moins 2.0 po du porte-outil si l'on veut éviter qu'il y ait interférence entre le porte-outil et la pièce.

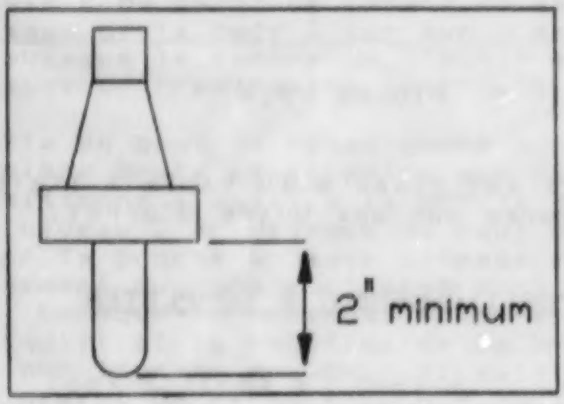


FIGURE F7.3

LE MONTAGE

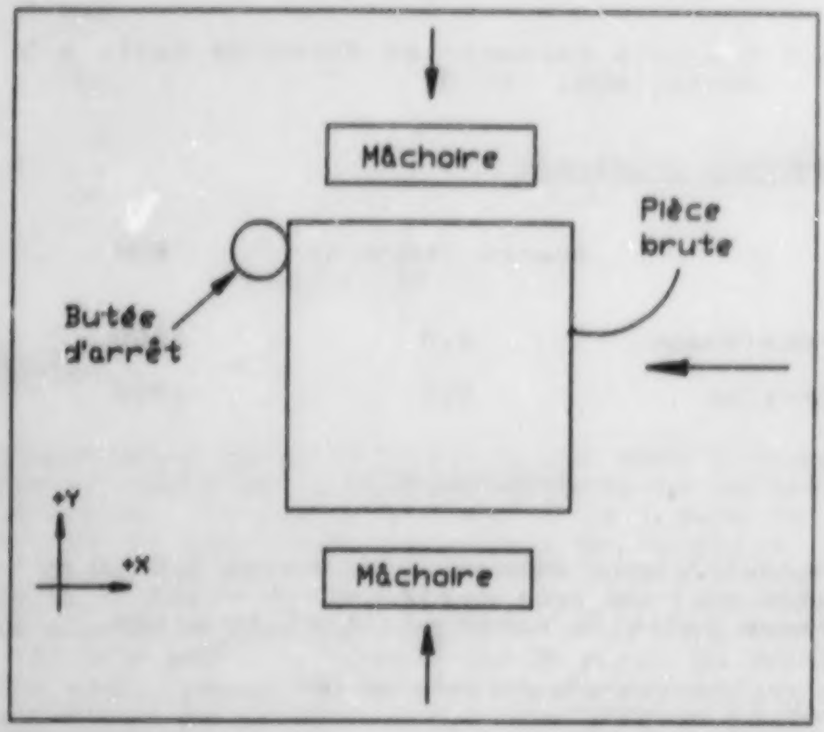


FIGURE F7.4

La pièce est fixée à la table à l'aide d'un étau et est appuyée sur une butée d'arrêt.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo			1.0
P1			
P2			
P3			
P4			
P5			

P6

P7

P8

:

:

:

Oo 1.0

TABLEAU F7.2

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur serre la pièce brute dans l'étau qui est sur la table de la fraiseuse, appuyée contre la butée d'arrêt. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute. Il place un bout de papier sur la pièce juste en dessous de l'outil et il descend l'outil lentement jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z sur l'écran du DCN et sait que la cote Z du point de départ Oo est située à 0.75 po au-dessus de la cote Z lue sur l'écran (0.75 et non 1.0), puisque le centre de l'outil est situé à 0.25 po au-dessus de l'extrémité de l'outil.

Il colle un bout de ruban gommé sur la face droite de la pièce brute et un autre sur la face avant. Il positionne l'outil à la droite du 1er bout de ruban à un niveau Z en dessous du haut de la pièce. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction -X. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote X sur l'écran du DCN. Il sait que la cote X du point de départ Oo est située à 4.25 po (6.0 - 1.5 - d/2) à la droite de la cote X lue sur l'écran.

Il positionne l'outil en avant du 2e bout de ruban. Il fait tourner la broche à basse vitesse et la rapproche lentement du ruban, c'est-à-dire dans la direction +Y. Lorsque le ruban se déchire, il arrête l'avance de l'outil et la rotation de la broche. Il lit la cote Y sur l'écran du DCN. Il sait que la cote Y du point de départ Oo est située à 1.75 po (1.5 + d/2) en arrière de la cote Y lue sur l'écran. Pour que l'opérateur puisse calculer avec précision la cote Y du point Oo, il faut que le haut de la pièce brute soit à 0.5 po au-dessus du haut des mâchoires de l'étau.

L'opérateur connaît avec précision les cotes X, Y et Z du point Oo. Il positionne l'outil au point de départ Oo et pèse la touche "SET HOME". Donc, il est prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START". La 1re pièce brute doit avoir des dimensions exactes, puisque le positionnement tient compte des dimensions de cette pièce brute.

PROJET DE TOURNAGE NO 1

LES RAINURES

Travail à réaliser

INTRODUCTION

ANNEXE B

PROJET DE TOURNAGE NO 1

LES RAINURES

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une pièce selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le pouce.
- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo).
- L'avance est programmée en po/tour.
- La vitesse périphérique est constante par rapport à la surface.

LE PLAN DE LA PIÈCE

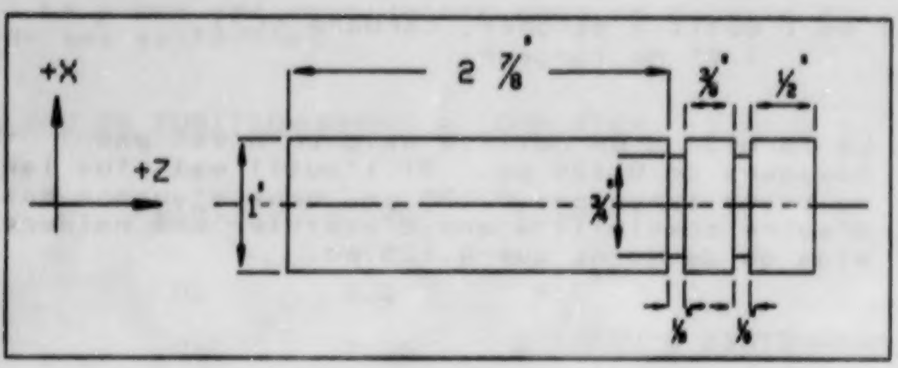


FIGURE T1.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 1" de diamètre par 4" de long.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

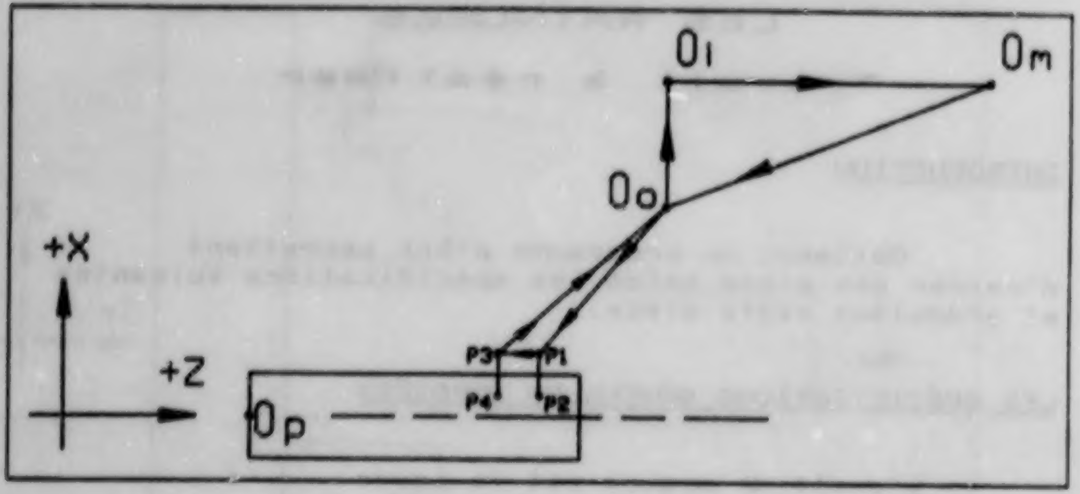


FIGURE T1.2

1 - Usinage de la 1re rainure.

2 - Usinage de la 2e rainure.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Outil à saigner, carbure (C7), 1/8" de largeur

N.B. La largeur d'un outil à saigner n'est pas toujours de 0.125 po. Si l'outil est plus large ou moins large que 0.125 po, nous n'aurons pas d'autre possibilité que d'exécuter une rainure de plus ou de moins que 0.125 po.

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/tour)	Vitesse périphérique (pi/min)
1	0.002	500

TABLEAU T1.1

- Aucun fluide de coupe n'est utilisé.

LE MONTAGE

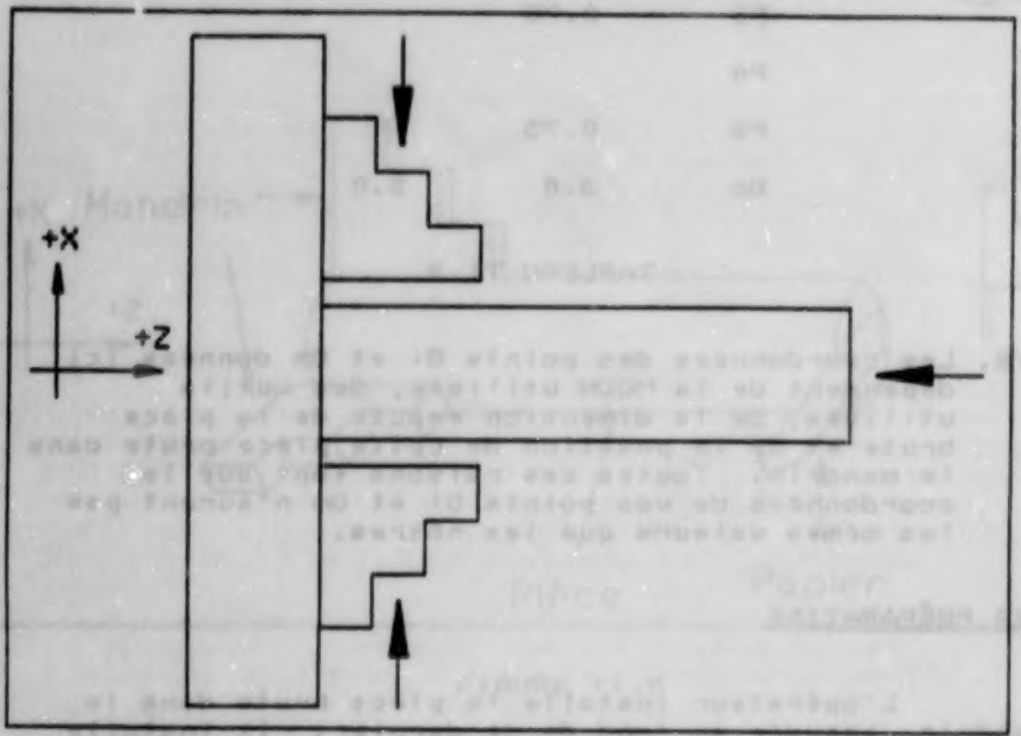


FIGURE T1.3

La pièce est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Z (po)
Oo	3.0	5.0
Ol	7.75	
Om		18.879
Oo	3.0	5.0
P1	0.75	
P2		

Les rainures

P1	0.75	
P3	0.75	
P4		
P3	0.75	
Oo	3.0	5.0

TABLEAU T1.2

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'auront pas les mêmes valeurs que les nôtres.

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute dans le mandrin, appuyée au fond de ce dernier. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil no 1. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Il tient un morceau de papier au bout de la pièce brute et place l'outil à la droite de cette pièce. Il approche lentement l'outil de la pièce, c'est-à-dire dans la direction -Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil.

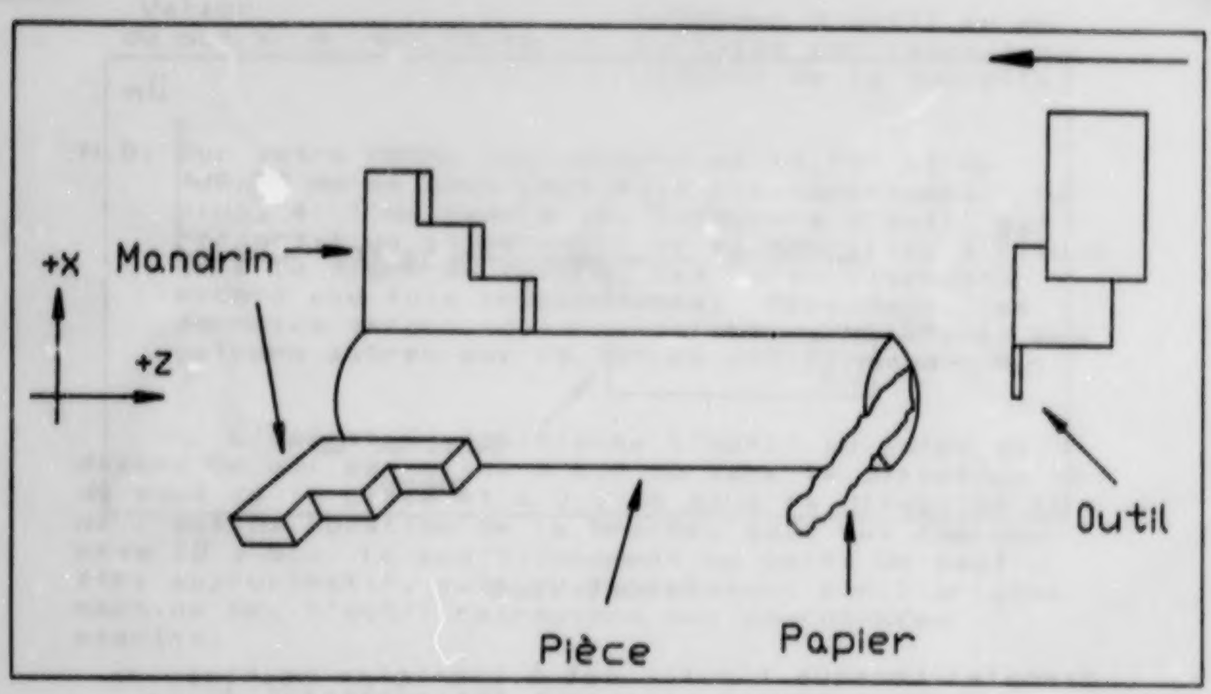


FIGURE T1.4

ATTENTION! le morceau de papier doit être assez long (au moins 6 po) pour que l'opérateur ne risque pas de se faire écraser les doigts.

Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout de la pièce brute est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

Puisque, dans ce cas-ci, l'origine programme Op est située à 4.0 po à la gauche du bout de la pièce brute, il faut inscrire au mot Z du bloc G50... du programme pièce, la valeur de (4.0 + Cote Z affichée lorsque l'outil est à Om - Cote Z affichée lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce).

ATTENTION! cette valeur du mot Z du bloc G50... peut varier d'une MOCN à l'autre et d'un essai à l'autre si les pièces brutes ne sont pas positionnées exactement au même endroit dans le mandrin.

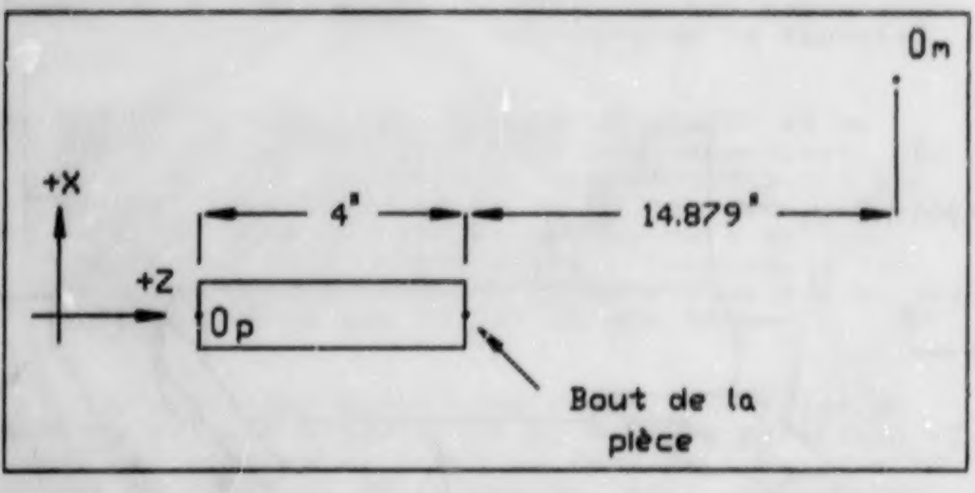


FIGURE T1.5

Exemple: Lorsque l'outil est à l'origine machine, on peut lire sur l'écran du DCN la coordonnée suivante selon l'axe Z, 1.2432 po. Lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce brute, on peut lire la coordonnée suivante selon l'axe Z, -13.243 po. La valeur du mot Z de la ligne 60 du programme pièce sera:

4.0 +1.2432 - (-13.243) = 18.4862

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante est très utile:

Valeur du mot X = 15.75" - Longueur d'outil en po calculée par rapport au centre de la tourelle

Dans notre cas, puisque l'outil mesure 8.0 po, il faut programmer:

Valeur du mot X = 15.75 - 8.0 = 7.75 po

Si l'on travaille en millimètres, il faut plutôt utiliser la formule suivante:

Valeur du mot X = 400.05 mm - Longueur d'outil en mm calculée par rapport au centre de la tourelle

N.B. Sur votre MOCN, les valeurs de 15.75" et de 400.05 mm ne sont peut-être pas opportunes. De plus, si l'on mesure les longueurs d'outil par rapport à un autre point de la tourelle, ailleurs qu'à la ligne de centre, ces valeurs seront encore une fois inopportunes. Cependant, les formules seront toujours valables, mais avec des valeurs autres que 15.75" et 400.05 mm.

L'opérateur positionne l'outil au point de départ Oo qui est situé à 1.0 po dans la direction +Z du bout de la pièce et à 3.0 po dans la direction +X de l'axe de rotation de la broche, soit aux coordonnées (3 , 5). Le positionnement au point Oo peut être approximatif, puisque, en passant par l'origine machine Om, l'outil retrouvera ses coordonnées exactes.

L'opérateur est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

PROJET DE TOURNAGE NO 2

LES RONDELLES

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner ces pièces selon les spécifications suivantes et produisez ces pièces.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le millimètre.
- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo). Cette origine est située au milieu de l'espace de travail; ceci diminue le risque de collision lors des changements d'outil et des compensations d'outil.
- L'avance est programmée en mm/tour.
- La vitesse périphérique est constante par rapport à la surface lors de toutes les opérations, sauf pour le perçage du trou.

LE PLAN DE LA PIÈCE

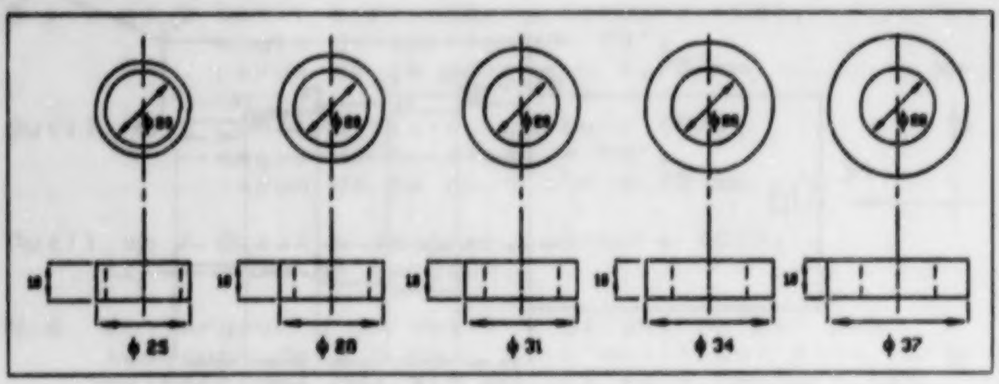


FIGURE T2.1

Matériau: Acier 1010, roulé à froid, 200 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 40 mm de diamètre
par 120 mm de long.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

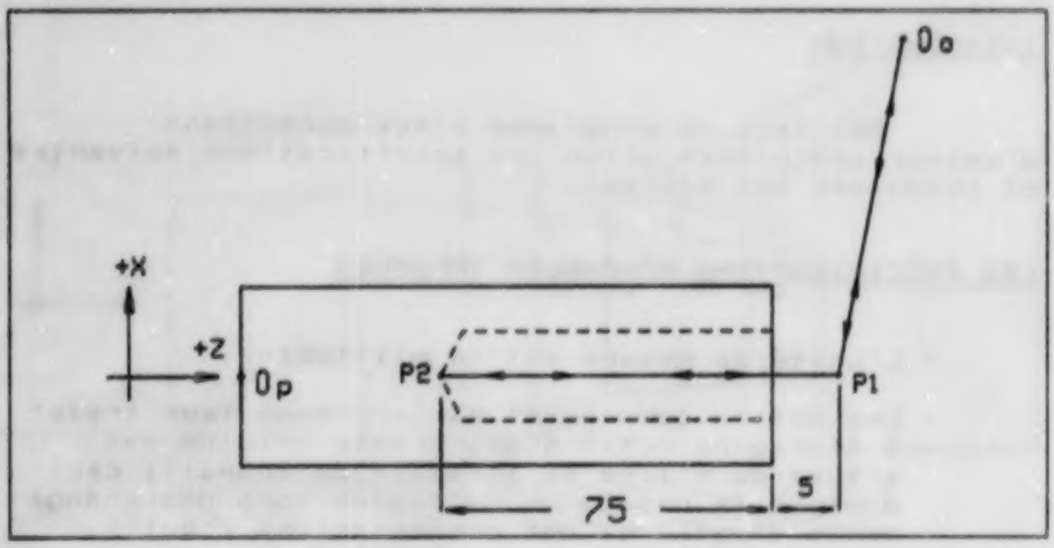


FIGURE T2.2

1 - Perçage d'un trou avec l'outil no 1. Vu la profondeur de ce trou, il faut utiliser le cycle de perçage par becquetage.

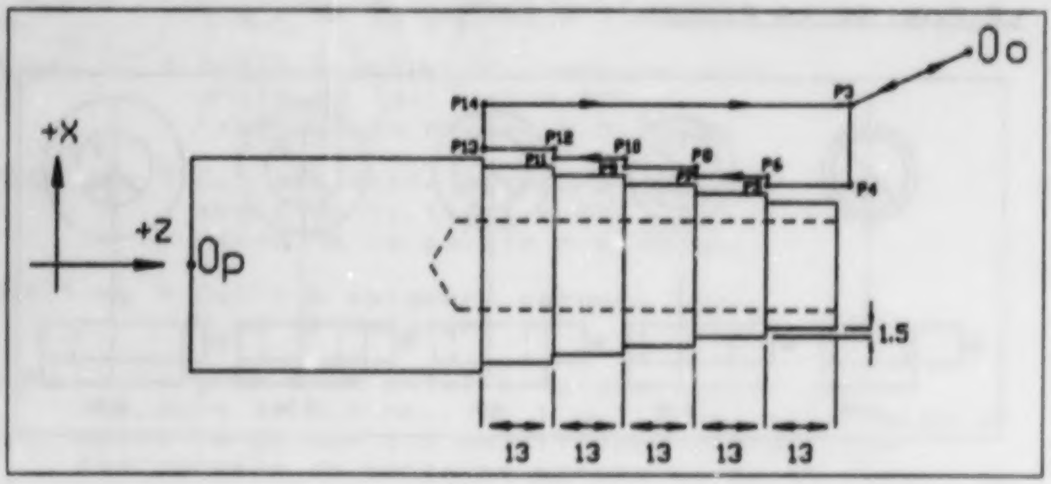


FIGURE T2.3

2 - Ébauche extérieure avec l'outil no 2. L'ébauche doit être exécutée avec le cycle d'ébauche en chariotage.

3 - Finition extérieure avec l'outil no 3.

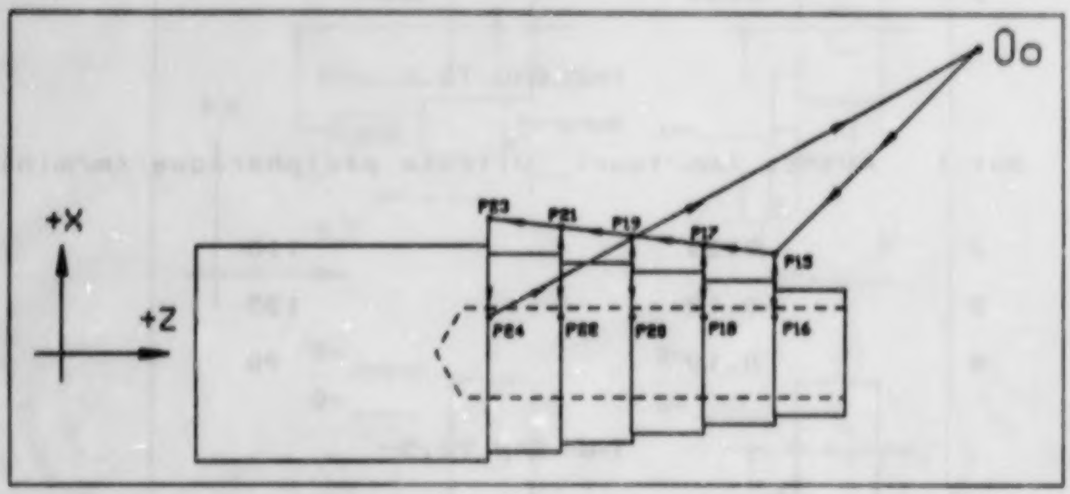


FIGURE T2.4

4 - Tronçonnage avec l'outil no 4.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Foret à percer, HSS, ϕ 20 mm, angle de la pointe = 118°

Outil no 2 Outil à ébaucher, carbure (C6), angle de taillant = 80°, rayon de la pointe = 0.75 mm

Outil no 3 Outil à finir, carbure (C7), angle de taillant = 55°, rayon de la pointe = 0.75 mm

Outil no 4 Outil à saigner, carbure (C7), 3 mm de largeur

N.B. La largeur d'un outil à saigner n'est pas toujours de 3.0 mm. Si l'outil est plus large ou moins large que 3.0 mm, il faut changer les coordonnées de certains points ou se contenter de rondelles un peu plus minces ou un peu plus épaisses que 10 mm.

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (mm/tour)	Rotation (RPM)
1	0.10	400

TABLEAU T2.1

Outil	Avance (mm/tour)	Vitesse périphérique (m/min)
2	0.20	110
3	0.12	135
4	0.10	90

TABLEAU T2.2

- Le fluide de coupe coule lors de toutes les opérations.

Les informations suivantes sont essentielles afin de déterminer tous les paramètres d'usinage.

Pour le perçage par becquetage, la profondeur de coupe par passe est de 2 mm. La profondeur de coupe par passe lors de l'ébauche est de 1.25 mm et il faut laisser une surépaisseur de 0.6 mm au diamètre et à la longueur de la pièce pour la passe de finition.

LE SCHÉMA DES OUTILS

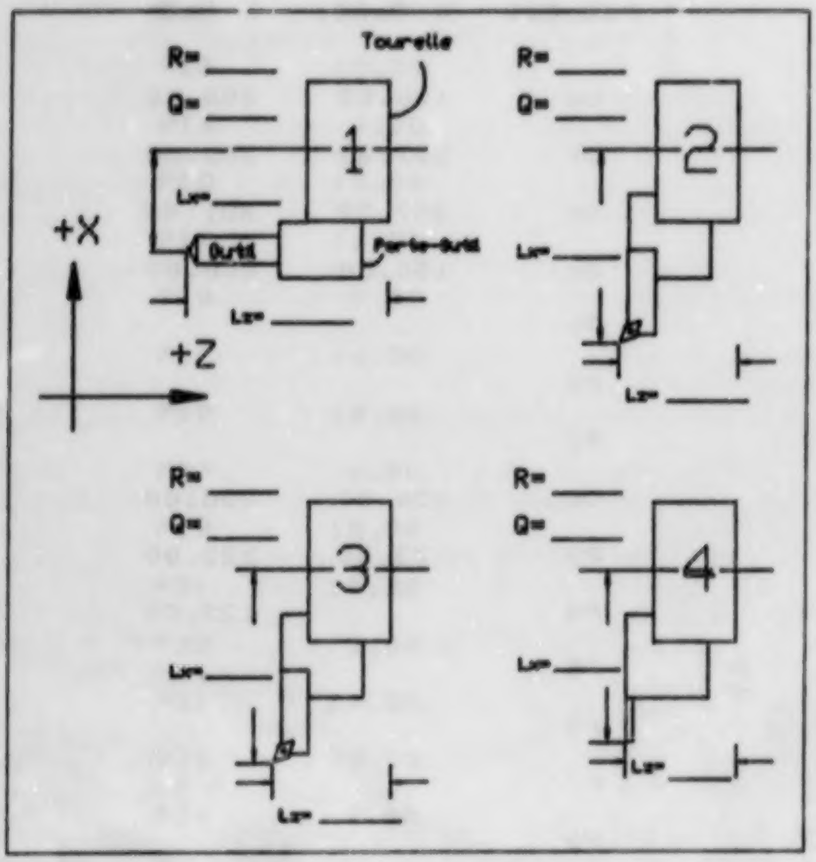


FIGURE T2.5

LE MONTAGE

La pièce est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités.

N.B. Il est possible que la contre-pointe soit nuisible à l'usinage avec l'outil à percer qui est plus long que les autres. Si c'est le cas, il faut alors retirer complètement la contre-pointe.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (mm)	Z (mm)
Oo	150.00	200.00
Oi	207.22	200.00
Om	207.22	381.42
Oo	150.00	200.00
P1		
P2		
P1		
Oo	150.00	200.00
P3	23.00	122.00
P4		122.00
P5		
P6		
P7		
P8		
P9		
P10		
P11		
P12		
P13		
P14	23.00	
P3	23.00	122.00
Oo	150.00	200.00
P3	23.00	122.00

Répétition du trajet du point P4
au point P14 pour la finition.

Les rondelles

P3	23.00	122.00
Oo	150.00	200.00
P15	15.00	
P16	9.00	
P15	15.00	
P17	16.50	
P18	9.00	
P17	16.50	
P19	18.00	
P20	9.00	
P19	18.00	
P21	19.50	
P22	9.00	
P21	19.50	
P23	23.00	
P24	9.00	
Oo	150.00	200.00

TABLEAU T2.3

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'auront pas les mêmes valeurs que les nôtres.

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute dans le mandrin, appuyée au fond de ce dernier. Il installe les 4 outils dans leur porte-outil respectif autour de la tourelle. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Il tient un morceau de papier au bout de la pièce brute et place l'outil no 1 à la droite de cette pièce brute. Il approche lentement l'outil de la pièce, c'est-à-dire dans la direction -Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout de la pièce brute est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

Puisque, dans ce cas-ci, l'origine Op est située à 120.0 mm à la gauche du bout de la pièce brute, il faut inscrire au mot Z du bloc G50... du programme pièce, la valeur de (120.0 + Cote Z affichée lorsque l'outil est à Om - Cote Z affichée lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce).

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante est très utile:

Valeur du mot X = 400.05 mm - Longueur d'outil en mm calculée par rapport au centre de la tourelle

Valeur du mot X = 400.05 - 192.83 = 207.22 mm

L'opérateur positionne approximativement l'outil au point de départ Oo. Il est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

PROJET DE TOURNAGE NO 3
LE FILETAGE EXTÉRIEUR
Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une pièce selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le millimètre.
- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo).
- L'avance est programmée en mm/min.
- La vitesse de rotation de la broche est programmée en RPM, sauf pour le surfaçage qui est exécuté avec une vitesse périphérique constante par rapport à la surface.

LE PLAN DE LA PIÈCE

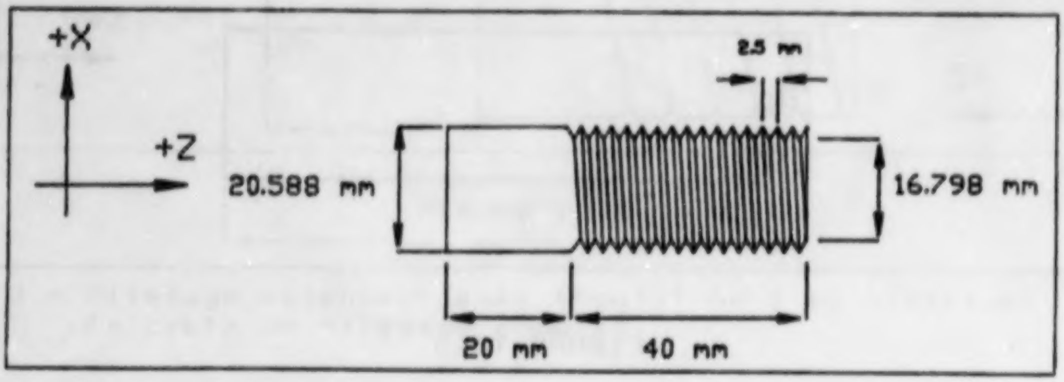


FIGURE T3.1

Matériau: Acier 1010, roulé à froid, 200 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 25 mm de diamètre
par 100 mm de long.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

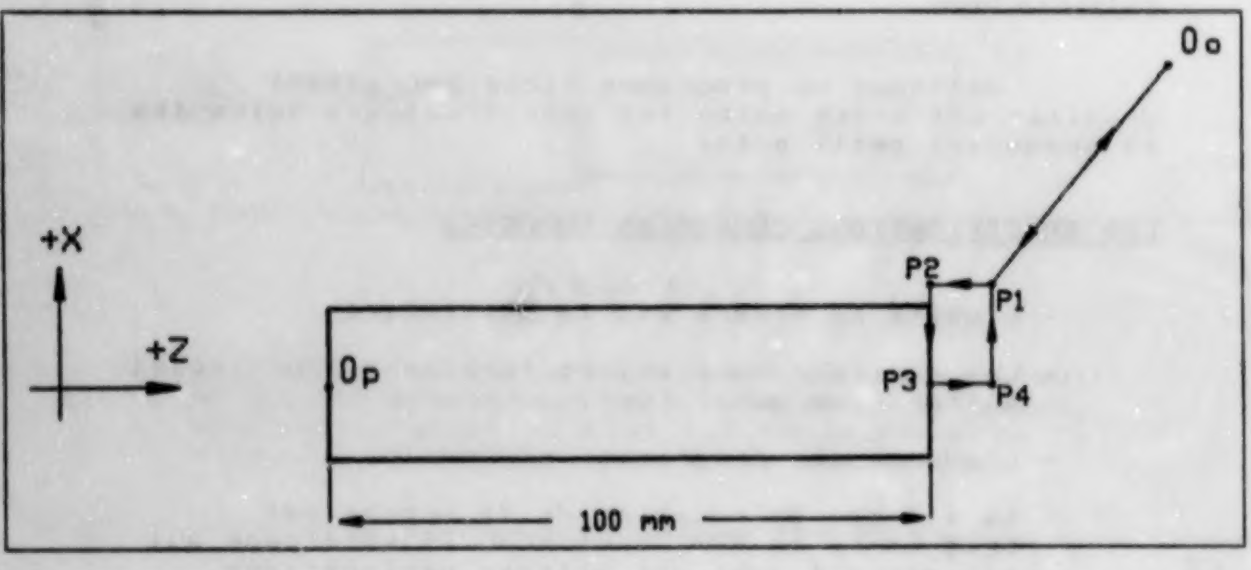


FIGURE T3.2

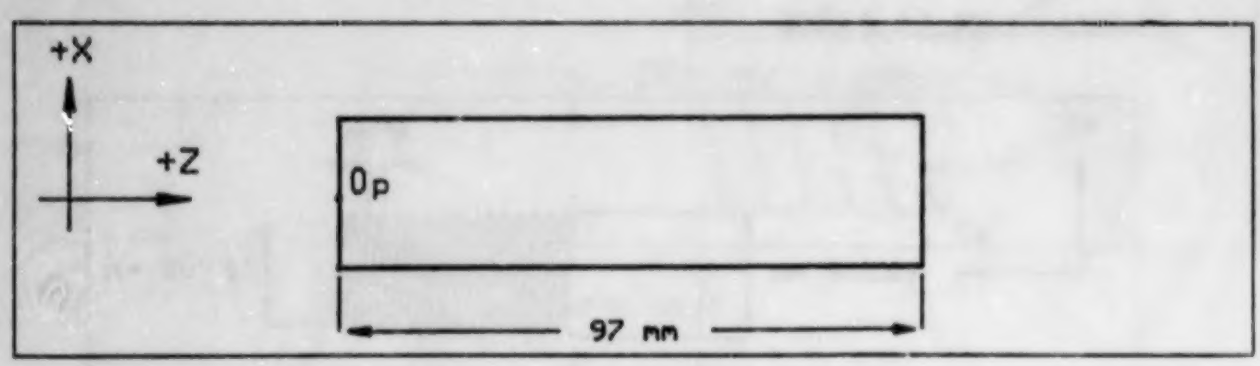


FIGURE T3.3

1 - Surfaçage du bout de la pièce avec l'outil no 1. Le surfaçage sera exécuté en 3 passes, chacune enlevant au plus 1.0 mm à la longueur de la pièce en utilisant le cycle de surfaçage.

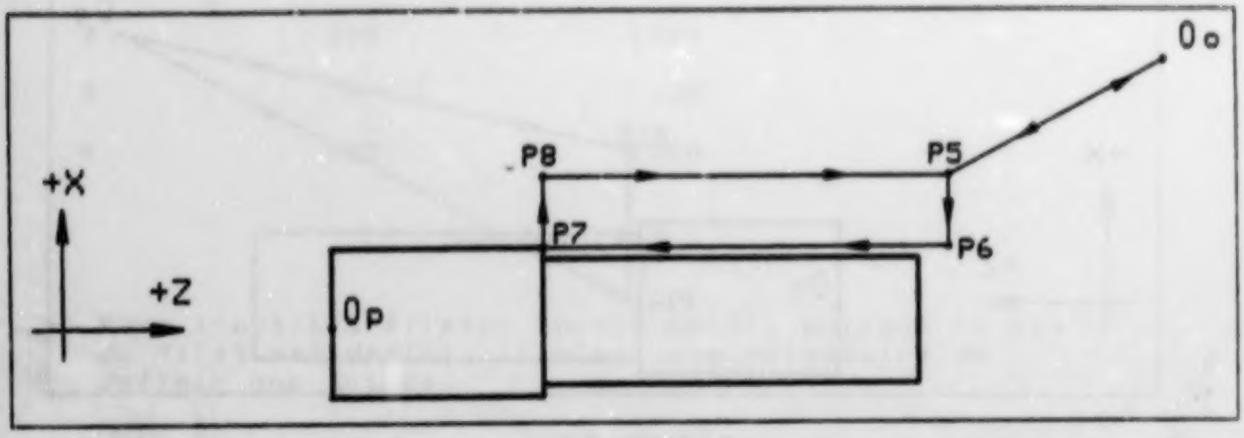


FIGURE T3.4

2 - Chariotage de la surface extérieure avec l'outil no 2. Le chariotage sera exécuté en 3 passes, chacune enlevant au plus 1.0 mm au rayon de la pièce en utilisant le cycle de chariotage.

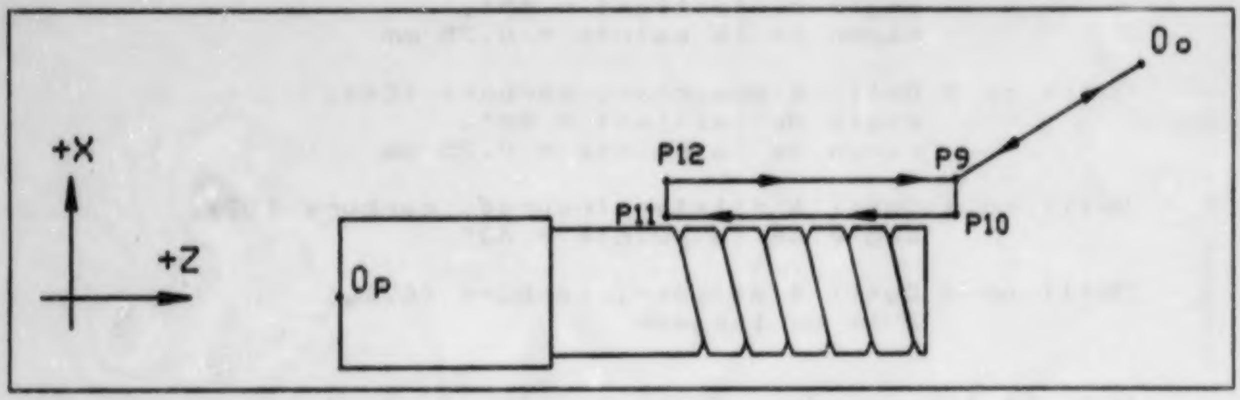


FIGURE T3.5

3 - Filetage extérieur avec l'outil no 3 en utilisant le cycle de filetage complet.

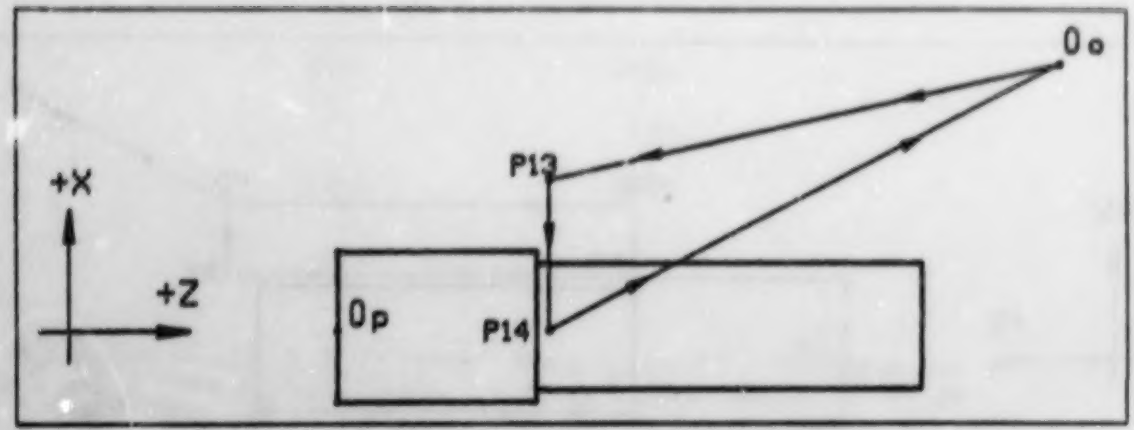


FIGURE T3.6

4 - Tronçonnage avec l'outil no 4.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1	Outil à surfacer, carbure (C6), angle de taillant = 55°, rayon de la pointe = 0.75 mm
Outil no 2	Outil à ébaucher, carbure (C6), angle de taillant = 80°, rayon de la pointe = 0.75 mm
Outil no 3	Outil à fileter inversé, carbure (C7), angle de la pointe = 60°
Outil no 4	Outil à saigner, carbure (C7), 3 mm de largeur

N.B. La largeur d'un outil à saigner n'est pas toujours de 3.0 mm. Si l'outil est plus large ou moins large que 3.0 mm, il faudra changer les coordonnées de certains points.

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (mm/min)	Vitesse périphérique (m/min)
1	225	110

TABLEAU T3.1

Le filetage extérieur

Outil	Avance (mm/min)	Rotation (RPM)
2	200	1400
3	*	120
4	125	1500

TABLEAU T3.2

* Pour l'outil à fileter (outil no 3), puisque le pas du filet est défini, il n'est pas nécessaire de définir une avance.

- Le fluide de coupe coule lors de toutes les opérations.

Les informations suivantes sont essentielles afin de déterminer tous les paramètres d'usinage. La profondeur totale du filet est de 1.895 mm, la profondeur de la 1re passe pour le filetage est de 0.35 mm et l'angle du filet est de 60°.

LE SCHÉMA DES OUTILS

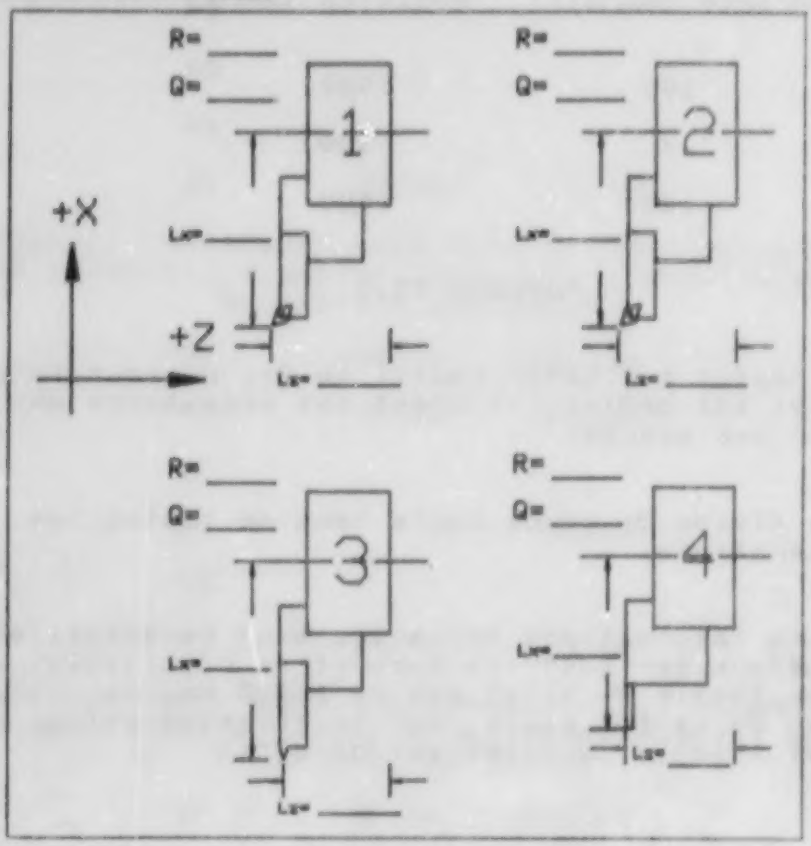


FIGURE T3.7

LE MONTAGE

La pièce est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (mm)	Z (mm)
Oo	150.00	300.00
Oi	149.94	300.00
Om	149.94	432.23
Oo	150.00	300.00
P1	17.50	110.00

Le filetage extérieur

P2		
P3	-1.0	
P4		
P1	17.50	110.00

Répétition d'un trajet semblable à celui du point P2 au point P1, 2 autres fois, en enlevant 1 mm de matière par passe.

Oo	150.00	300.00
P5	15.00	102.00
P6		
P7		32.00
P8		
P5	15.00	102.00

Répétition d'un trajet semblable à celui du point P6 au point P5, 2 autres fois, en enlevant 1 mm de matière par passe.

Oo	150.00	300.00
P9	13.00	107.00
P10		
P11		
P12		
P9	13.00	107.00

Le DCN calcule lui-même le nombre de passes nécessaires pour tailler le filet. Le trajet décrit entre le point P9 et le point P12 sont les coordonnées de la dernière passe.

Oo	150.00	300.00
P13	14.00	
P14	-1.0	
Oo	150.00	300.00

TABLEAU T3.3

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute dans le mandrin, appuyée au fond de ce dernier. Il installe les 4 outils dans leur porte-outil respectif autour de la tourelle. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Il tient un morceau de papier au bout de la pièce brute et place l'outil no 1 à la droite de cette pièce brute. Il approche lentement l'outil de la pièce, c'est-à-dire dans la direction -Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout de la pièce brute est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

Puisque, dans ce cas-ci, l'origine programme Op est située à 100.0 mm à la gauche du bout de la pièce brute, il faut inscrire au mot Z du bloc G50... du programme pièce, la valeur de (100.0 + Cote Z affichée lorsque l'outil est à Om - Cote Z affichée lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce).

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante sera très utile:

Valeur du mot X = 400.05 mm - Longueur d'outil en mm calculée par rapport au centre de la tourelle

Valeur du mot X = 400.05 - 250.11 = 149.94 mm

L'opérateur positionne approximativement l'outil au point de départ Oo. Il est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

PROJET DE TOURNAGE NO 4

LE GROS "SMARTIES"

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une pièce selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- L'unité de mesure est le pouce.
- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo).
- L'avance est programmée en po/min.
- La vitesse périphérique est constante par rapport à la surface.

LE PLAN DE LA PIÈCE

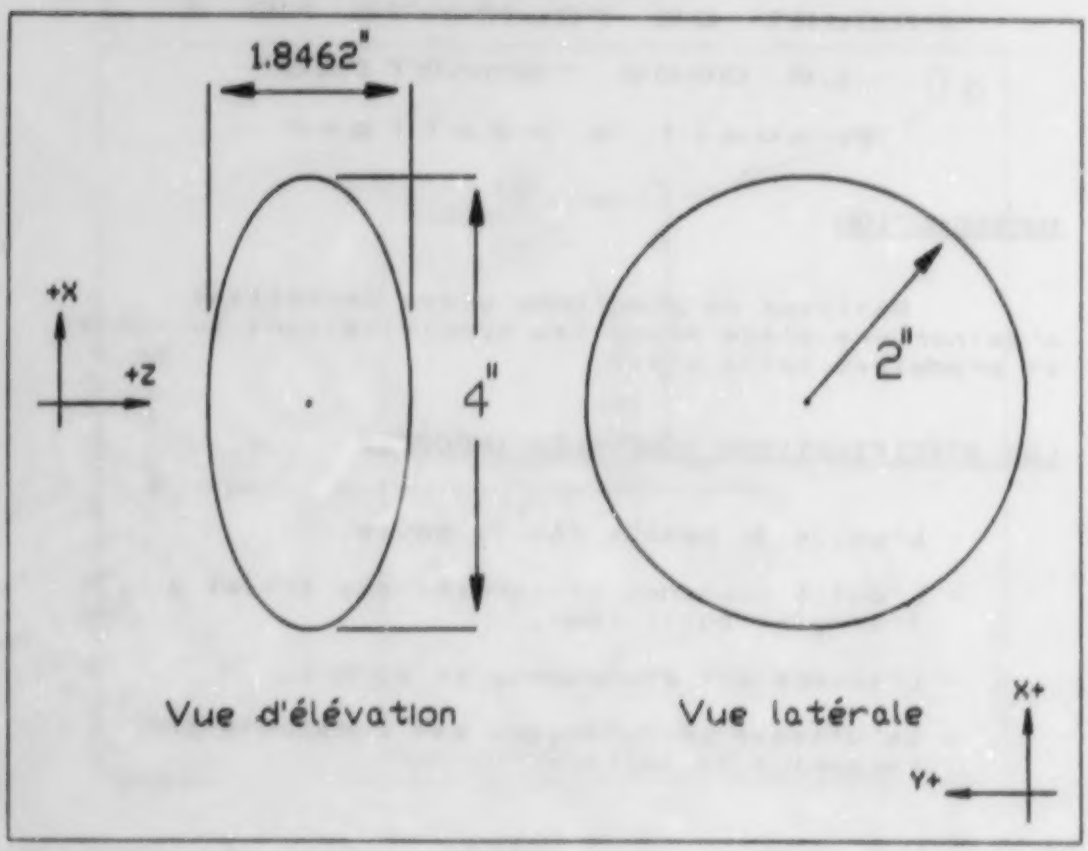


FIGURE T4.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 4" de diamètre
par 2" de long.

La surface extérieure de la pièce usinée vue dans le plan X-Z forme une ellipse et la surface extérieure vue dans le plan X-Y forme un cercle.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

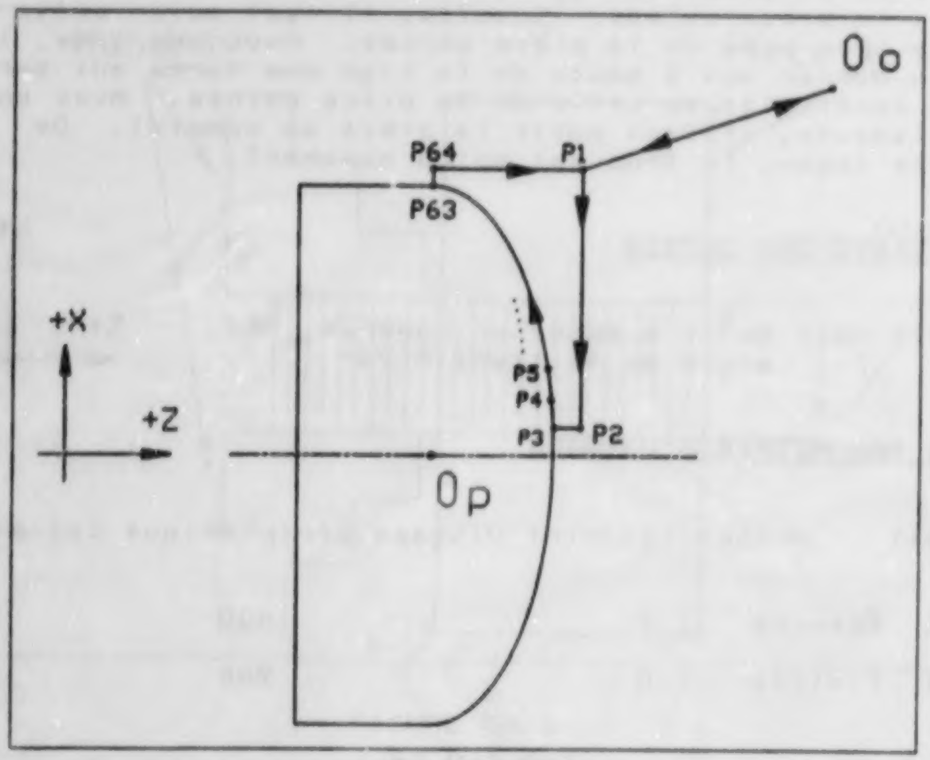


FIGURE T4.2

1 - Ébauche du 1er côté de la pièce avec l'outil no 1. L'ébauche devra être exécutée avec le cycle d'ébauche en chariotage.

2 - Finition du 1er côté de la pièce avec l'outil no 1.

3 - Ébauche du 2e côté de la pièce avec l'outil no 1.

4 - Finition du 2e côté de la pièce avec l'outil no 1.

L'étape suivante consiste à boucher le trou au centre de la pièce usinée. Cette étape n'a rien à voir avec la commande numérique, mais elle permet d'obtenir une pièce plus décorative.

Le gros "smarties"

Pour ce faire, il faut trouver une tige filetée en aluminium qui visse d'un bout à l'autre dans la pièce usinée. Ensuite, il faut scier cette tige très près de la pièce usinée. Avec une lime, il faut donner aux 2 bouts de la tige une forme qui sera une continuité de celle de la pièce usinée. Avec une polisseuse, il faut polir la pièce au complet. De cette façon, le trou est moins apparent.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Outil à ébaucher inversé, HSS, angle de taillant = 70°

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil		Avance (po/min)	Vitesse périphérique (pi/min)
1	Ébauche	2.0	400
1	Finition	1.0	500

TABLEAU T4.1

- Le fluide de coupe coule lors de toutes les opérations.

Les informations suivantes sont essentielles afin de déterminer tous les paramètres d'usinage. La profondeur de coupe par passe lors de l'ébauche est de 0.05 po et il faut laisser une surépaisseur de 0.02 po au rayon et à la longueur de la pièce pour la passe de finition. L'outil peut être considéré comme n'ayant aucun rayon de courbure de la pointe.

LE MONTAGE

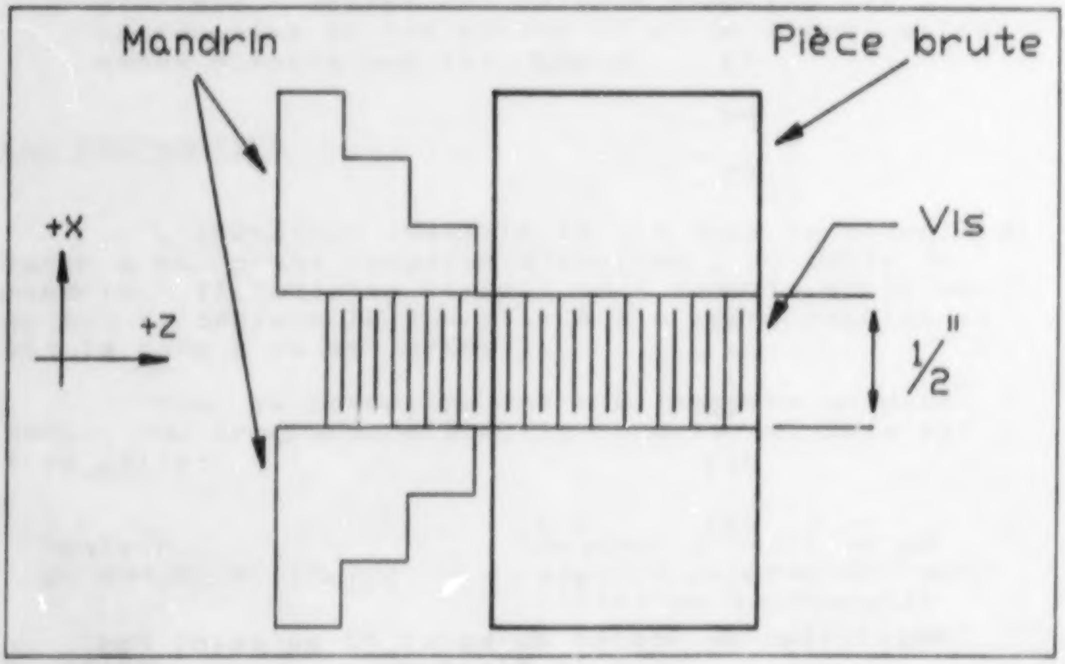


FIGURE T4.3

La pièce est accrochée à une vis qui est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités. La vis a un diamètre de 0.5 po et il faut placer l'outil de façon à ce que l'usinage serre la vis dans la pièce, plutôt que l'inverse, sinon la pièce risque de se dévisser. Il faudra faire attention à ce que la vis ne sorte pas à plus de 1.25 po du bout des mors, sinon l'outil risque de toucher la vis en usinant.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Z (po)
Oo	4.0	5.0
Oi	7.7813	5.0
Om	7.7813	17.98
Oo	4.0	5.0

Le gros "smarties"

P1	2.1	1.15
P2		1.15
P3	0.2	
P4		
P5		
P6		
P7		
:		
:		
:		
P62		
P63		
P64	2.1	
P1	2.1	1.15

Répétition du trajet du point P2 au point P64 pour la finition.

P1	2.1	1.15
Oo	4.0	5.0

TABLEAU T4.2

Pour que le trajet de l'outil ressemble à une ellipse, il faut définir plusieurs points. Il faut, entre les coordonnées X=0.2 po et X=1.6 po, trouver la coordonnée Z appropriée pour chaque coordonnée X distancée de 0.04 po, soit X=0.2, X=0.24, X=0.28, X=0.32, etc.

Pour les coordonnées de X=1.6 po à X=1.9 po, il faut trouver la coordonnée Z appropriée pour chaque coordonnée X distancée de 0.02 po, soit X=1.6, X=1.62, X=1.64, etc.

Pour les coordonnées de X=1.9 po à X=2.0 po, il faut trouver la coordonnée Z appropriée pour chaque coordonnée X distancée de 0.01 po, soit X=1.9, X=1.91, X=1.92, etc.

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée et des outils utilisés. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la vis dans le mandrin de façon à ce qu'une longueur d'environ 1 po sorte du mandrin. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil no 1. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante est très utile:

Valeur du mot X = 15.75" − Longueur d'outil en po calculée par rapport au centre de la tourelle

Valeur du mot X = 15.75 − 7.9687 = 7.7813 po

Il tient un morceau de papier au bout du mandrin et place l'outil à la droite de ce mandrin. Il approche lentement l'outil du mandrin, c'est-à-dire dans la direction −Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre le bout du mandrin et l'outil. Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout du mandrin est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

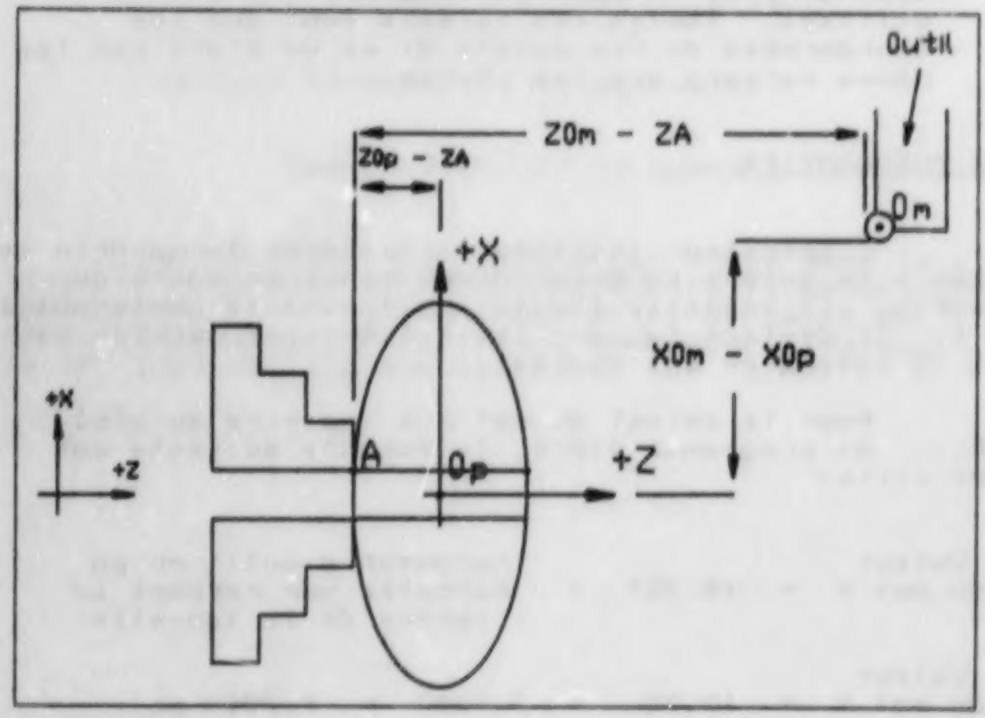


FIGURE T4.4

L'opérateur doit trouver où est situé l'outil par rapport au point Op lorsque celui-ci est au point Om.

G50 X ___ Z ___ S3000

Selon l'axe X, l'opérateur doit trouver la dimension XOm - XOp.

Ex.: Si XOm - XOp = 7.7813, il faudra écrire X = 7.7813.

Selon l'axe Z, l'opérateur doit trouver la dimension ZOm - ZOp. D'après l'équation de l'ellipse, ZOp - ZA = 0.9159, soit la valeur de Z associée à X = 0.25 po.

La valeur du mot Z est de ZOm - ZA - 0.9159.

Le gros "smarties"

Ex.: Si ZOm - ZA = 18.8959, il faudra écrire

Z = 18.8959 - 0.9159 = 17.98

Le bloc ressemble à ce qui suit:

G50 X7.7813 Z17.98 S3000

L'opérateur visse une pièce brute dans la vis jusqu'à ce qu'elle soit appuyée contre le mandrin. Il positionne l'outil approximativement au point de départ Oo. Il est donc prêt à commencer l'usinage du 1er côté de la pièce en pesant sur "START".

PROJET DE TOURNAGE NO 5

LE FILETAGE INTÉRIEUR

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une pièce selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo).
- L'avance est programmée en po/min.
- La vitesse de rotation de la broche est programmée en RPM.
- Une compensation d'outil pour la finition extérieure doit être programmée.

LE PLAN DE LA PIÈCE

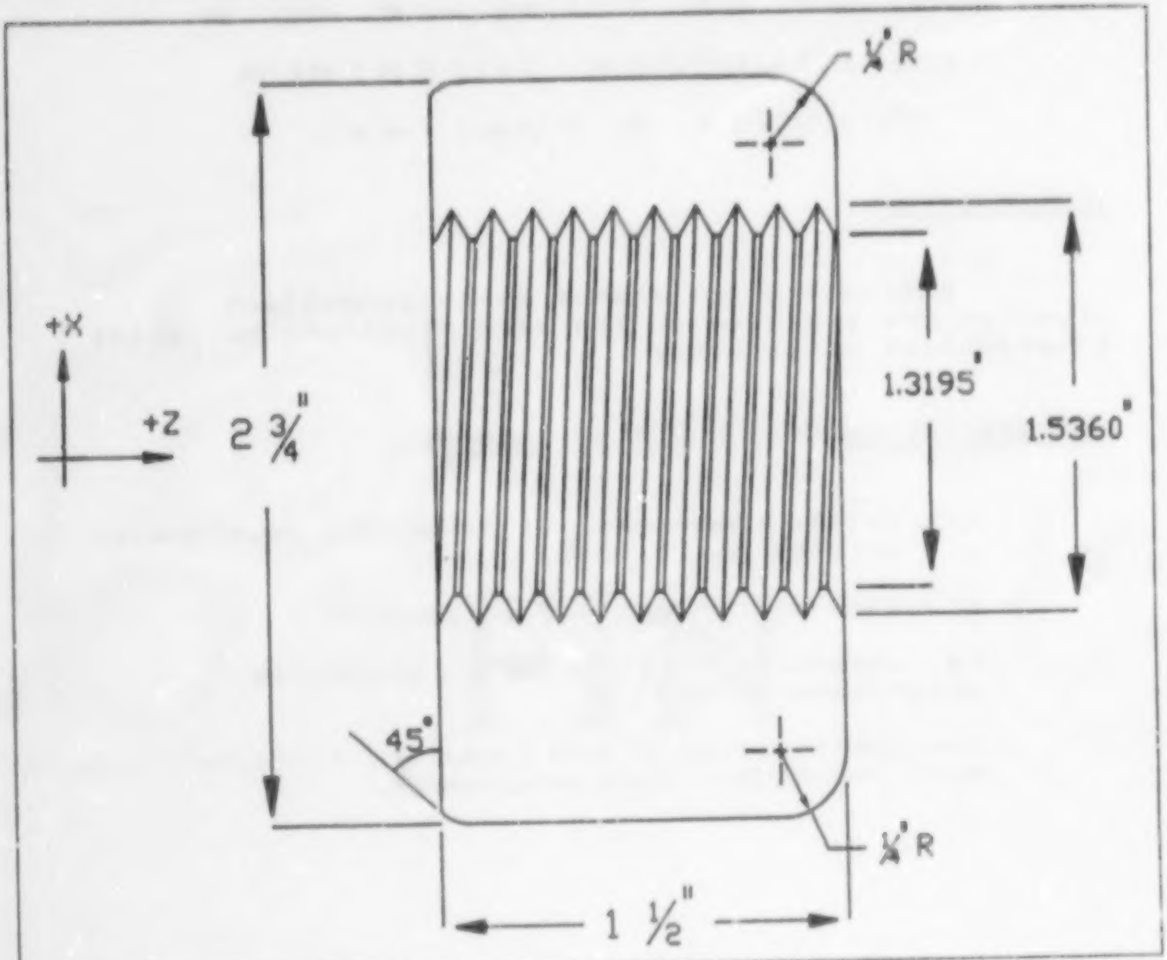


FIGURE T5.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 3" de diamètre
par 4" de long.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

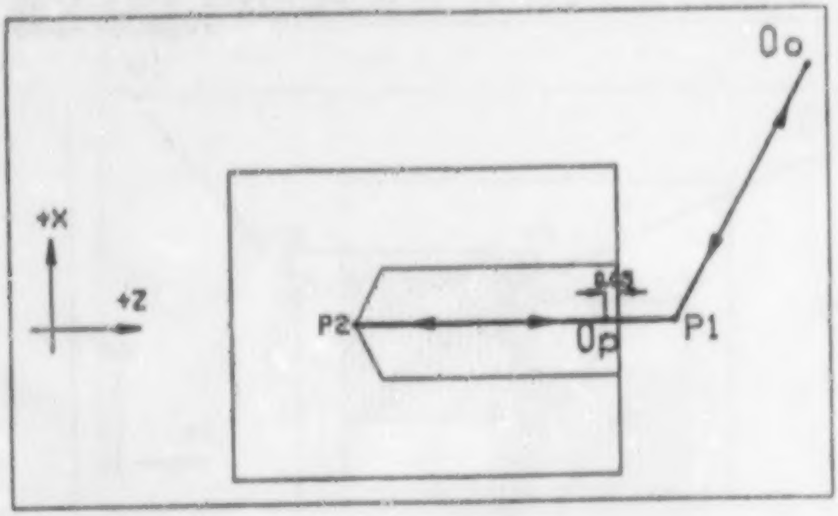


FIGURE T5.2

1 - Perçage d'un trou avec l'outil no 1. Vu la profondeur de ce trou, il faut utiliser le cycle de perçage par becquetage.

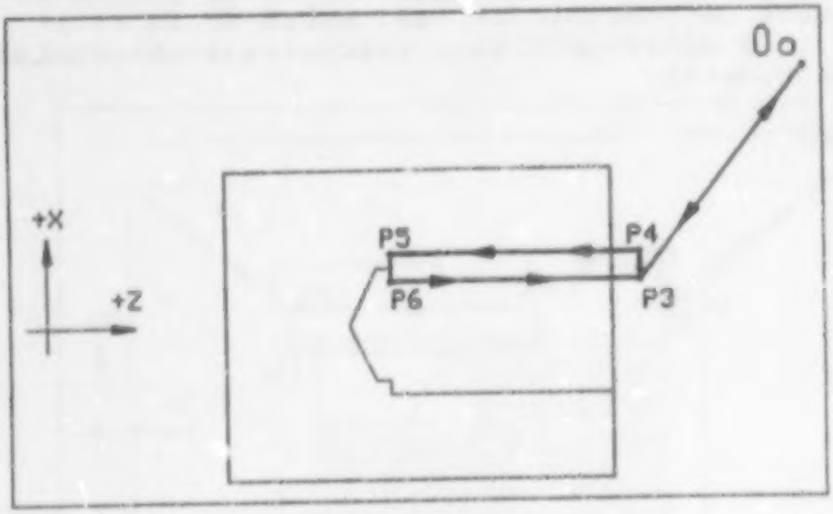


FIGURE T5.3

2 - Alésage du trou avec l'outil no 2. L'alésage doit être exécuté avec le cycle d'ébauche en chariotage.

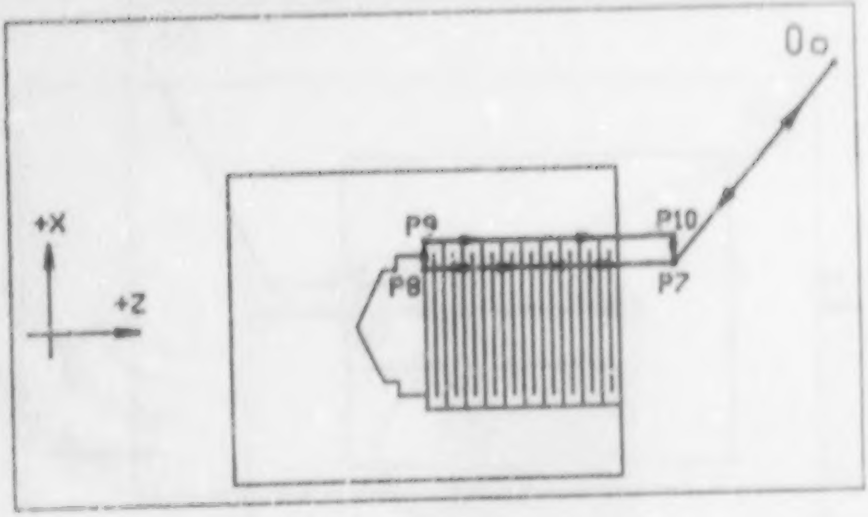


FIGURE T5.4

3 - Filetage intérieur avec l'outil no 3.

ATTENTION au sens de rotation de la broche et du déplacement de l'outil! Il faut exécuter un filet "à droite". Le filet doit être exécuté avec le cycle de filetage complet.

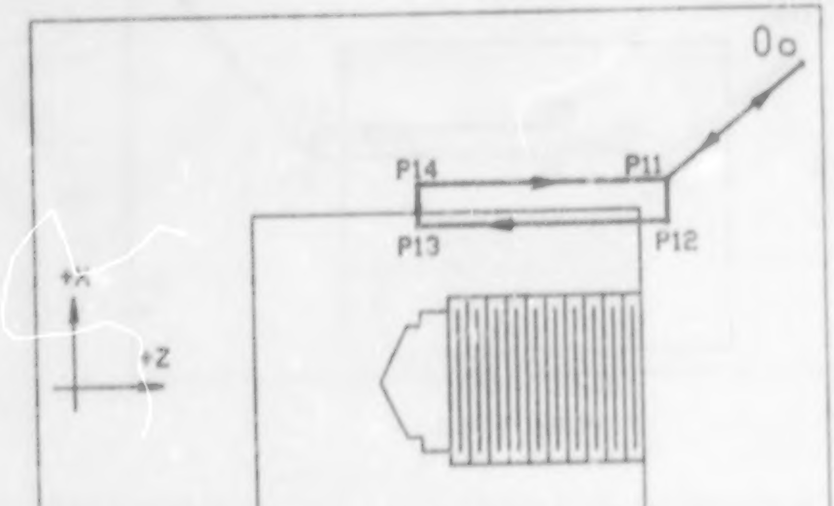


FIGURE T5.5

4 - Ébauche extérieure avec l'outil no 4. L'ébauche doit être exécutée avec le cycle d'ébauche en chariotage.

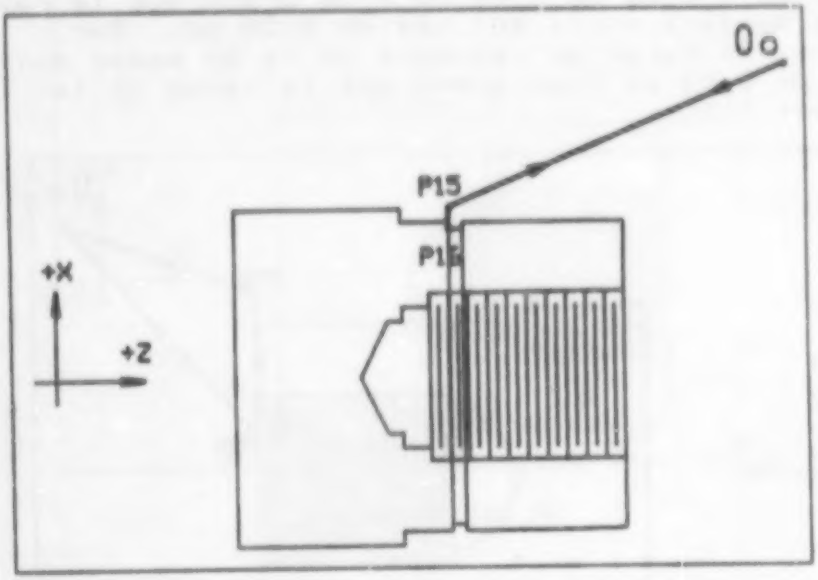


FIGURE T5.6

5 - Ébauche du coin gauche avec l'outil no 5.

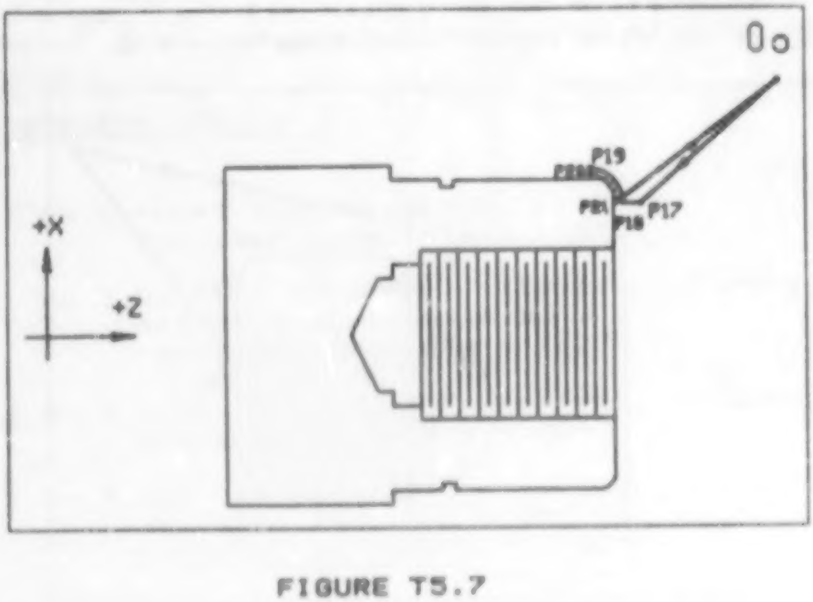


FIGURE T5.7

6 - Ébauche du coin droit avec l'outil no 6. Avec 2 passes à profil circulaire en quart de cercle, nous pourrons obtenir une surépaisseur de 0.02 po au coin droit. Le rayon de courbure de la 1re passe doit être de 0.06 po plus grand que le rayon de la surface finie qui est de 0.25 po. Par contre, le rayon de courbure de la 2e passe doit être de 0.02 po plus grand que le rayon de la surface finie.

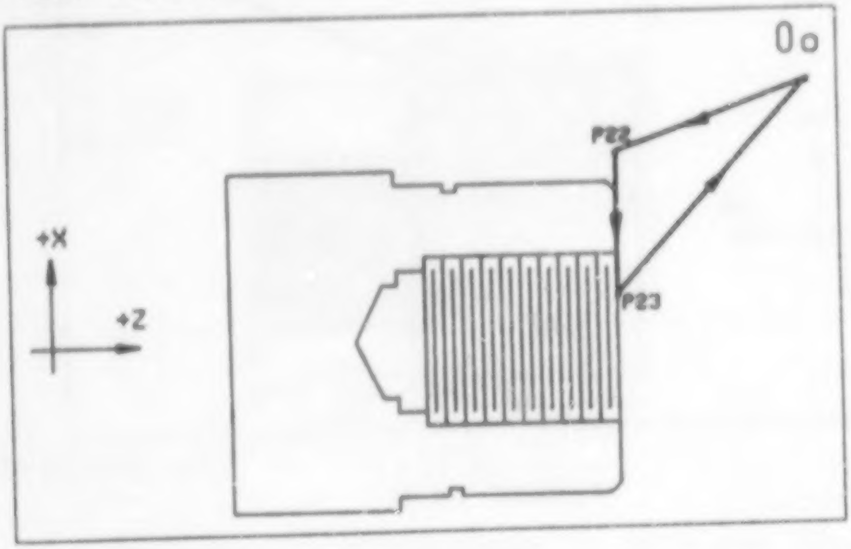


FIGURE T5.8

7 - Surfaçage du côté droit avec l'outil no 6.

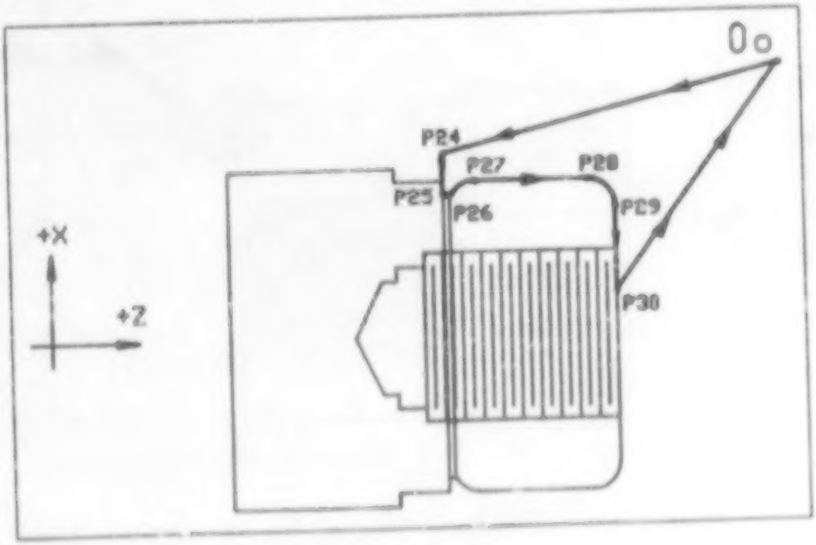


FIGURE T5.9

8 - Finition extérieure avec l'outil no 6 et avec une compensation d'outil.

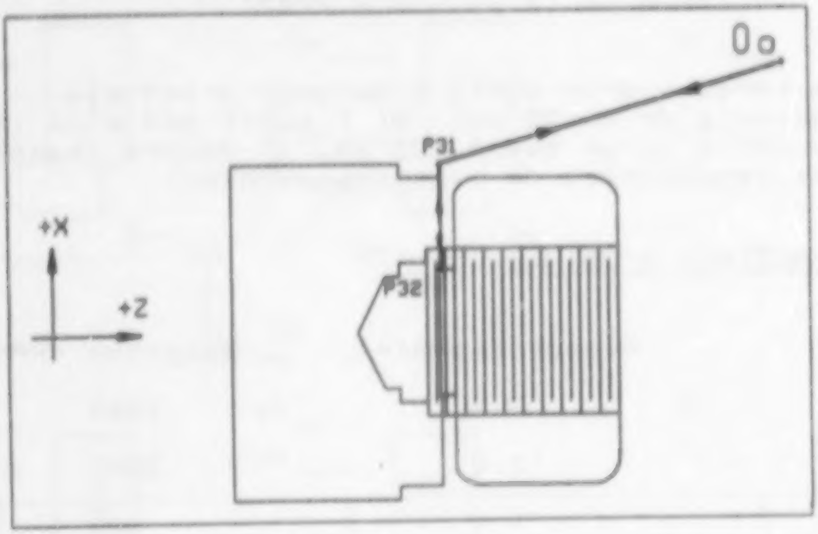


FIGURE T5.10

9 - Tronçonnage avec l'outil no 5.

ATTENTION! le tronçonnage ne doit pas être complet. Il faut tronçonner jusqu'à un rayon de 0.8 po, retirer l'outil, puis casser la pièce manuellement, sinon la pièce risque de se détacher brusquement et causer des dommages à l'opérateur et à la MOCN.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Foret à percer, HSS, ϕ1.0", angle de la pointe = 118°

Outil no 2 Outil à ébaucher, intérieur, carbure (C6), angle de taillant = 55°, rayon de la pointe = 1/32"

Outil no 3 Outil à fileter, intérieur, carbure (C7), angle de la pointe = 60°

Outil no 4 Outil à ébaucher, extérieur, carbure (C6), angle de taillant = 80°, rayon de la pointe = 1/32"

Outil no 5 Outil à saigner, extérieur, carbure (C7), 1/8" de largeur

Outil no 6 Outil à finir, extérieur, carbure (C7), angle de taillant = 35°, rayon de la pointe = 1/32"

N.B. La largeur d'un outil à saigner n'est pas toujours de 0.125 po. Si l'outil est plus large ou moins large que 0.125 po, il faudra changer les coordonnées de certains points.

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil		Avance (po/min)	Rotation (RPM)
1		7.5	1000
2		12.0	2300
3		*	800
4		14.0	1400
5		6.5	1100
6	Ébauche	12.0	1400
6	Finition	10.0	1600

TABLEAU T5.1

* Pour l'outil à fileter (outil no 3), puisque le pas du filet est défini, il n'est pas nécessaire de définir une avance.

- Le fluide de coupe coule lors de toutes les opérations.

Les informations suivantes sont essentielles afin de déterminer tous les paramètres d'usinage. Pour le perçage par becquetage, la profondeur de coupe par passe est de 0.1 po. La profondeur de coupe par passe lors de l'ébauche intérieure et de l'ébauche extérieure est de 0.05 po et il faut laisser une surépaisseur de 0.02 po au diamètre et à la longueur de la pièce pour la passe de finition extérieure. Le filet intérieur comprend 6 filets au pouce, l'angle du filet est de 60° et la profondeur de la 1re passe est de 0.015 po.

LE SCHÉMA DES OUTILS

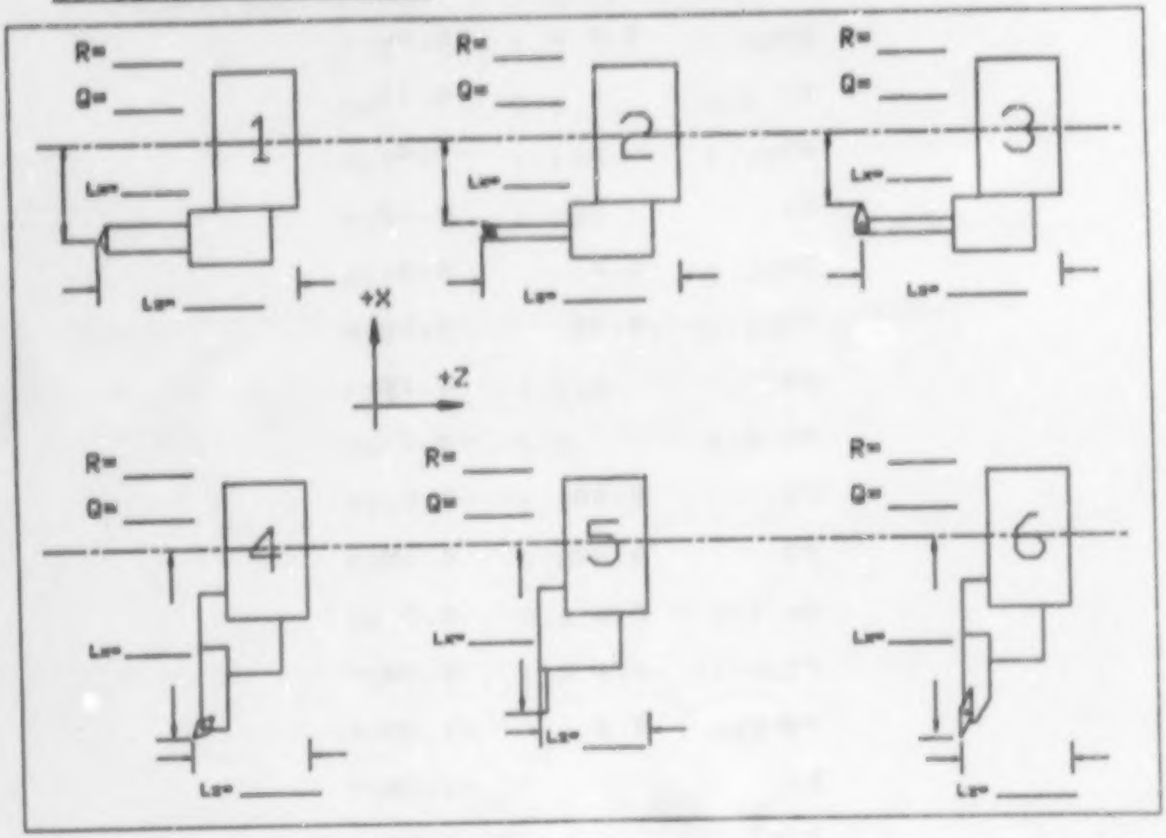


FIGURE T5.11

LE MONTAGE

La pièce est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités.

N.B. Il est possible que la contre-pointe soit nuisible à l'usinage avec les outils intérieurs qui sont plus long que les outils extérieurs. Alors, il faut retirer complètement la contre-pointe.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Z (po)
Oo	5.0	8.0
Oi	8.333	8.0

Le filetage intérieur

Om	8.333	14.354
Oo	5.0	8.0
P1		0.15
P2		-2.4
P1		0.15
Oo	5.0	8.0
P3	0.48	0.15
P4		0.15
P5		-2.0
P6	0.48	-2.0
P3	0.48	0.15
Oo	5.0	8.0
P7	0.6	0.25
P8	0.6	-1.75
P9		-1.75
P10		0.25
P7	0.6	0.25
P8	0.6	-1.75
P7	0.6	0.25
Oo	5.0	8.0
P11	1.6	0.15
P12		0.15
P13		-2.0
P14	1.6	-2.0
P11	1.6	0.15
Oo	5.0	8.0
P15	1.5	-1.5832

P16	1.3588	-1.5832
P15	1.5	-1.5832
Oo	5.0	8.0
P17	1.125	0.15
P18	1.125	
P19		-0.25
P20		-0.25
P21	1.125	
Oo	5.0	8.0
P22	1.5	
P23	0.5	
Oo	5.0	8.0
P24	1.5	-1.55
P25		-1.55
P26		
P27		
P28		
P29		
P30	0.5	
Oo	5.0	8.0
P31	1.5	
P32	0.8	
P31	1.5	-1.625
Oo	5.0	8.0

TABLEAU T5.2

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute dans le mandrin, appuyée au fond de ce dernier. Il installe les 6 outils dans leur porte-outil respectif autour de la tourelle. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Il tient un morceau de papier au bout de la pièce brute et place l'outil no 1 à la droite de cette pièce brute. Il approche lentement l'outil de la pièce, c'est-à-dire dans la direction -Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout de la pièce brute est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

Puisque, dans ce cas-ci, l'origine programme Op est située à 0.05 po à la gauche du bout de la pièce brute, il faut inscrire au mot Z du bloc G50... du programme pièce, la valeur de (0.05 + Cote Z affichée lorsque l'outil est à Om - Cote Z affichée lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce).

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante est très utile:

$$\text{Valeur du mot X} = 15.75'' - \text{Longueur d'outil en po calculée par rapport au centre de la tourelle}$$

$$\text{Valeur du mot X} = 15.75 - 7.417 = 8.333 \text{ po}$$

L'opérateur positionne approximativement l'outil au point de départ Oo. Il est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

PROJET DE TOURNAGE NO 6

LE PION

Travail à réaliser

INTRODUCTION

Bâtissez un programme pièce permettant d'usiner une pièce selon les spécifications suivantes et produisez cette pièce.

LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES IMPOSÉES

- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo).
- L'avance est programmée en po/min.
- La vitesse périphérique est constante par rapport à la surface.
- Aucune compensation d'outil ne doit être programmée et les déplacements de l'outil sont programmés par rapport au point P (voir Section 9.2).
- Avant d'usiner la pièce, calculez le temps approximatif d'usinage pour exécuter la passe de finition.

N.B. Pour le calcul du temps approximatif d'usinage, la formule suivante vous sera utile.

$$\text{Temps d'usinage (minute)} = \frac{\text{Distance parcourue par l'outil (po)}}{\text{Vitesse d'avance (po/min)}}$$

LE PLAN DE LA PIÈCE

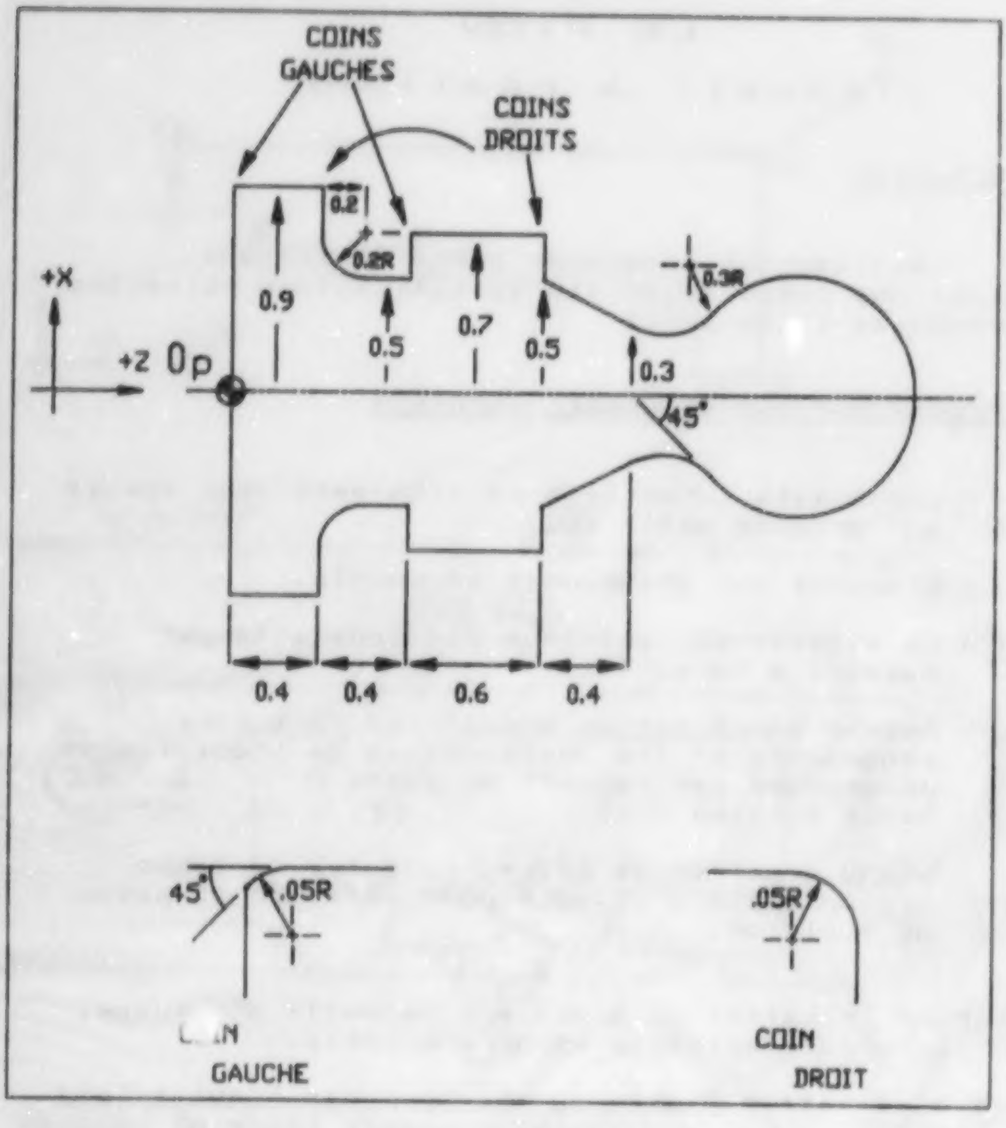


FIGURE T6.1

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 2" de diamètre
par 5.5" de long.

LE SCHÉMA DE L'ITINÉRAIRE COMMENTÉ

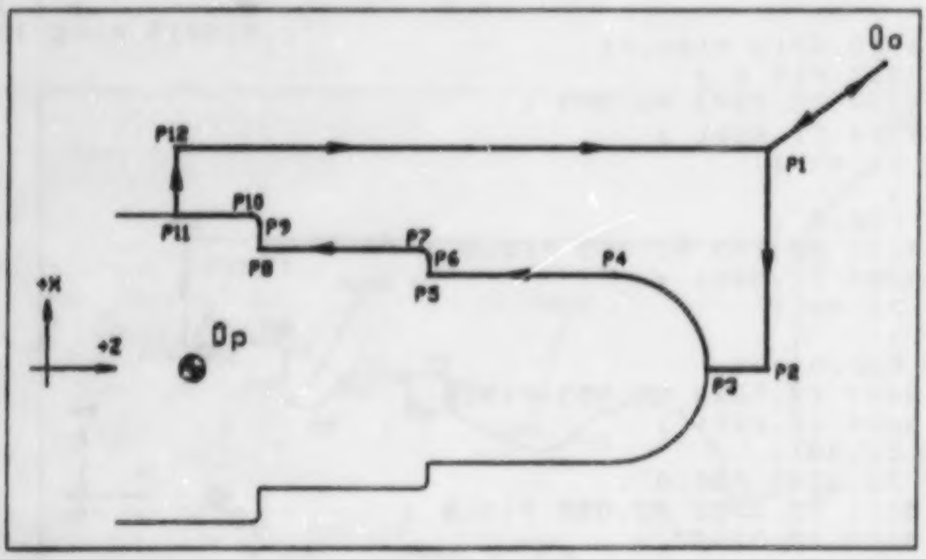


FIGURE T6.2

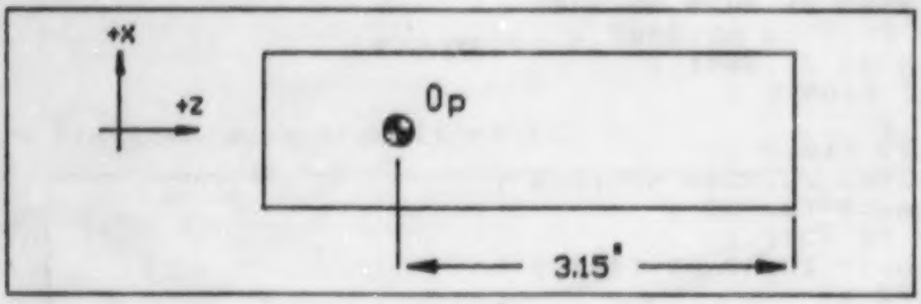


FIGURE T6.3

1 - Ébauche de toute la pièce, sauf des poches, avec l'outil no 1. L'ébauche doit être exécutée avec le cycle d'ébauche en chariotage.

2 - Ébauche des 3 poches avec l'outil no 1. Cette section de programme pièce est déjà écrite et le programmeur n'a qu'à l'insérer à l'intérieur de son propre programme, entre les opérations no 1 et no 3. Cette section de programme sera exécutée correctement si l'outil se situe au point P1 avant l'exécution. L'outil retournera au point P1 après l'exécution de l'opération no 2.

Le pion

Voici la section de programme à insérer entre les opérations no 1 et no 3.

```
G01 X0.6 Z2.4712 F100.0;
G01 X0.5237 F15.0 ;
G03 X0.4707 Z2.2345 R0.555 ;
G01 X0.4704 Z1.4801 ;
X0.5004 Z1.42 ;
X0.5237 ;
Z2.4712 F30.0 ;
G03 X0.4177 Z2.145 R0.555 F15.0 ;
G01 X0.4204 Z1.5801 ;
X0.5004 Z1.42 ;
X0.5237 ;
Z2.4712 F30.0 ;
G03 X0.3647 Z2.0824 R0.555 F15.0 ;
G01 X0.3604 Z1.6801 ;
X0.4704 Z1.48 ;
X0.4737 Z2.2345 F30.0 ;
G03 X0.3611 Z2.0788 R0.555 F15.0 ;
G02 X0.3197 Z2.02487 ;
G01 X0.3204 Z1.7801 ;
X0.4204 Z1.5801 ;
X0.4177 Z2.145 F30.0 ;
G03 X0.3611 Z2.0788 R0.555 F15.0 ;
G02 X0.2883 Z1.9025 R0.2487 ;
X0.3146 Z1.7916 R0.2487 ;
G01 X0.3704 Z1.6801 ;
G01 X1.1 F100.0 ;
Z0.8041 ;
G01 X0.72 F15.0 ;
G03 X0.6903 Z0.7325 R0.1013 ;
G01 X0.6608 Z0.703 ;
X0.6439 Z0.4221 ;
G02 X0.6687 Z0.42 R0.1487 ;
G01 X0.72 ;
Z0.8041 F30.0 ;
G03 X0.6903 Z0.7325 R0.1013 F15.0 ;
G01 X0.6108 Z0.653 ;
X0.6026 Z0.4355 ;
G02 X0.6687 Z0.42 R0.1487 ;
G01 X0.72 ;
Z0.8041 F30.0 ;
G03 X0.6903 Z0.7325 R0.1013 F15.0 ;
G01 X0.5608 Z0.603 ;
X0.5603 Z0.4658 ;
G02 X0.6439 Z0.4221 R0.1487 ;
G01 X0.6608 Z0.703 F30.0 ;
X0.52 Z0.5687 F15.0 ;
G02 X0.6026 Z0.4355 R0.1487 ;
G01 X1.1 F100.0 ;
Z0.0041 ;
G01 X0.92 F15.0 ;
```

```
G03 X0.8903 Z-0.0675 R0.1013 ;
G01 Z-0.3 ;
X1.1 ;
G01 Z3.4 F100.0 ;
```

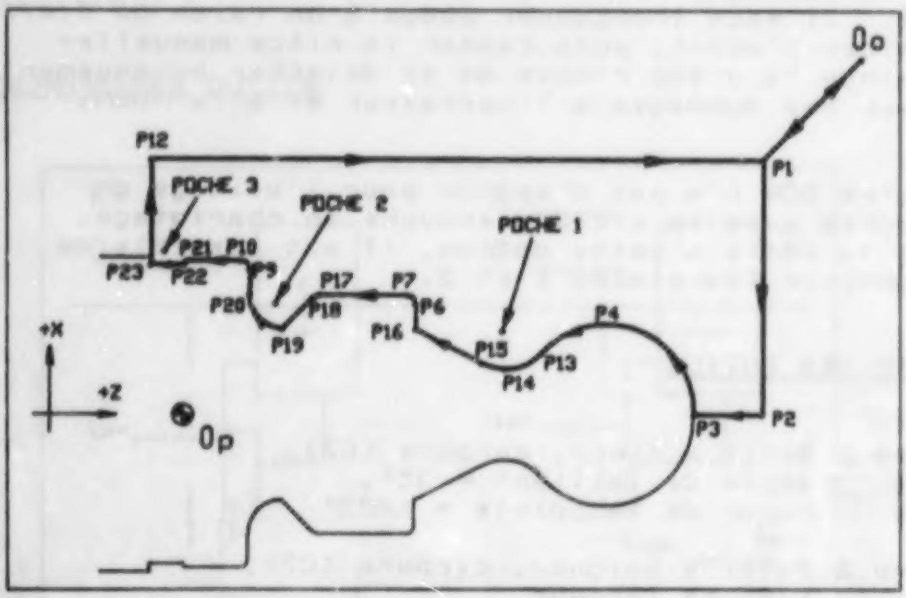


FIGURE T6.4

3 - Finition avec l'outil no 1.

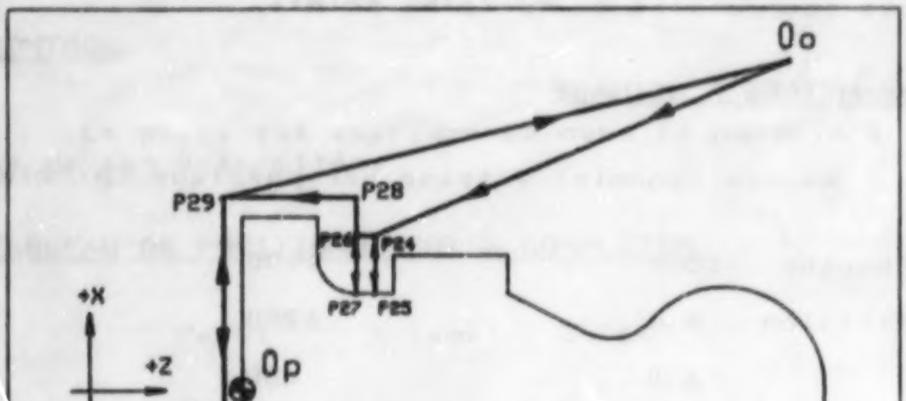


FIGURE T6.5

4 - Rainurage d'un coin avec l'outil no 2.

5 - Tronçonnage avec l'outil no 2.

ATTENTION! le tronçonnage ne doit pas être complet. Il faut tronçonner jusqu'à un rayon de 0.075 po, retirer l'outil, puis casser la pièce manuellement, sinon la pièce risque de se détacher brusquement et causer des dommages à l'opérateur et à la MOCN.

N.B. Notre DCN n'a pas d'option pour l'usinage de poches avec le cycle d'ébauche en chariotage. Si la vôtre a cette option, il est possible de combiner les étapes 1 et 2.

LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Outil à finir, carbure (C7),
angle de taillant = 35°,
rayon de la pointe = 1/32"

Outil no 2 Outil à saigner, carbure (C7),
1/8" de largeur

N.B. La largeur d'un outil à saigner n'est pas toujours de 0.125 po. Si l'outil est plus large ou moins large que 0.125 po, il faudra changer les coordonnées de certains points.

LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil		Avance (po/min)	Vitesse périphérique (pi/min)
1	Ebauche	15.0	1000
1	Finition	8.0	1200
2		6.0	600

TABLEAU T6.1

- Le fluide de coupe coule lors de toutes les opérations.

Le pion

Les informations suivantes sont essentielles afin de déterminer tous les paramètres d'usinage. La profondeur de coupe par passe lors de l'ébauche est de 0.05 po et il faut laisser une surépaisseur de 0.02 po au diamètre et à la longueur de la pièce pour la passe de finition.

LE SCHÉMA DES OUTILS

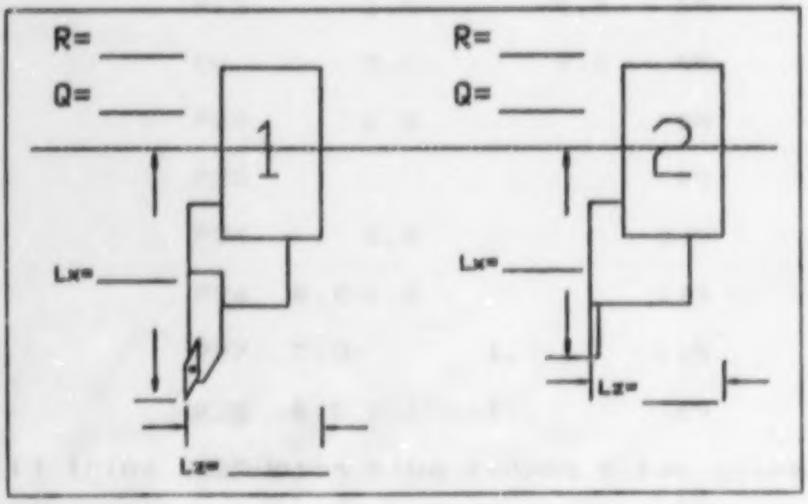


FIGURE T6.6

LE MONTAGE

La pièce est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités.

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT À COMPLÉTER

Point	X (po)	Z (po)
Oo	5.0	9.0
Oi	8.318	9.0
Om	8.318	15.893
Oo	5.0	9.0

Le pion

P1	1.1	3.4
P2		3.4
P3		
P4		
P5		
P6		
P7		
P8		
P9		
P10		
P11		-0.3
P12	1.1	-0.3
P1	1.1	3.4

Dégrossissage des 3 poches puis retour au point P1.

P2		3.4
P3		
P4		
P13		
P14		
P15		
P16		
P6		
P7		
P17		
P18		
P19		
P20		

Le pion

P9		
P10		
P21		
P22		
P23		-0.3
P12	1.1	-0.3
Oo	5.0	9.0
P24	0.8	
P25		
P24	0.8	
P26	0.8	
P27		
P28	1.1	
P29	1.1	
P30	0.075	
P29	1.1	
Oo	5.0	9.0

TABLEAU T6.2

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute dans le mandrin, appuyée au fond de ce dernier. Il installe les 2 outils dans leur porte-outil respectif autour de la tourelle. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Le pion

Il tient un morceau de papier au bout de la pièce brute et place l'outil no 1 à la droite de cette pièce brute. Il approche lentement l'outil de la pièce, c'est-à-dire dans la direction -Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil. Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout de la pièce brute est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

Puisque, dans ce cas-ci, l'origine programme Op est située à 3.15 po à la gauche du bout de la pièce brute, il faut inscrire au mot Z du bloc G50... du programme pièce, la valeur de (3.15 + Cote Z affichée lorsque l'outil est à Om - Cote Z affichée lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce).

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante est très utile:

Valeur du mot X = 15.75" - Longueur d'outil en pouces calculée par rapport au centre de la tourelle

Valeur du mot X = 15.75 - 7.432 = 8.318 po

L'opérateur positionne approximativement l'outil au point de départ Oo. Il est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

ANNEXE C

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

LEXIQUE

Absolues (système de coordonnées...)
Absolute co-ordinate system

Système de coordonnées où chaque point est mesuré par rapport à un point de référence. Le calcul des coordonnées d'un point est donc indépendant de la position du point précédent (par opposition à système de coordonnées incrémentales).

Actionneur
Actuator

Organe d'entraînement servant à effectuer les déplacements d'un chariot.

Adresse
Address

Lettre placée au début d'un mot et servant à identifier les données qui suivent dans le mot.

Alphanumérique (caractère...)
Alphanumeric character

Caractère appartenant à un jeu comprenant les lettres de l'alphabet, les chiffres, le caractère espace et éventuellement des caractères de commande et des caractères spéciaux.

Analogique (donnée...)
Analog data

Relatif à une donnée exprimée par une valeur qui peut varier de façon continue (par opposition à donnée numérique).

APT
APT Automatically Programmed Tool

Langage de programmation évolué ou symbolique, utilisé en commande numérique, permettant la programmation simultanée de 5 axes.

ASCII (code...)
ASCII code American Standard Code for Information Interchange

Code reconnu en Amérique du Nord comme norme de transmission. Il est composé de 7 "bits" d'informations et d'un "bit" de parité.

Axe
Axis

Un axe est une direction graduée dans laquelle les chariots ou l'outil peuvent se déplacer.

Bande perforée
Punched tape

Support d'informations constitué d'une bande opaque et souple, de papier ou de matière plastique, sur laquelle des perforations de formes et de dimensions fixes, dans des emplacements définis, permettent d'emmagasiner des informations de façon permanente.

Bande magnétique
Magnetic tape

Support d'informations semblable à une bande utilisée dans un magnétophone, comprenant des zones magnétisables permettant l'enregistrement.

Binaires (système des nombres...)
Binary number system

Réfère à un système de nombres, qui utilise 2 états stables comme base, communément appelé base 2 et qui exprime toute quantité par l'utilisation symbolique de zéro "0" et de un "1".

Bloc d'informations
Block data

Un mot ou groupe de mots placé(s) selon une forme convenable et qui est/sont lu(s) et traité(s) en bloc. Un bloc est séparé d'un autre bloc par un caractère de fin de bloc.

Boucle ouverte (système de commande en...)
Open loop control

Système de commande dans lequel le signal de sortie n'est pas comparé au signal d'entrée (par opposition à système de commande en boucle fermée).

Boucle fermée (système de commande en...)
Closed loop control

Système de commande dans lequel le signal de sortie, provenant du processus, est comparé au signal d'entrée en vue de modifier ultérieurement ce signal d'entrée (par opposition à système de commande en boucle ouverte).

Capteur
Sensor

Instrument de mesure permettant de recueillir et de transmettre au DCN un signal qui représente un déplacement de la table, une vitesse de rotation de la broche, une force, etc.

Caractère
Character

Élément d'un alphabet, soit un chiffre, une lettre ou autre, employé pour constituer une donnée qui est comprise par une MOCN. Généralement, 8 chiffres binaires forment un caractère et un ensemble de caractères forme un mot.

Centre d'usinage
Machine center

Machine-outil à commande numérique polyvalente qui possède une tourelle ou une chaîne à chargement automatique des outils et permettant l'usinage de la pièce sur différentes faces sans démontage.

Codeur
Absolute encoder

Instrument de mesure numérique et absolu placé sur la vis mère ou sur l'organe terminal et servant à traduire l'avance des chariots en impulsions électriques.

Lexique

Commande numérique
Numerical control

Technique de contrôle des machines dans laquelle les informations définissant les coordonnées successives des organes mobiles sont préalablement enregistrées sous la forme de programme et de données numériques.

Commande numérique avec ordinateur
CNC Computerized Numerical Control

Commande numérique réalisée sous la conduite et sous le contrôle d'un ordinateur incorporé qui réalise quelques-unes ou toutes les fonctions de base de la CN (par opposition à commande numérique à logique câblée).

Commande numérique directe
DNC Direct Numerical Control

Commande numérique dans laquelle les MOCN commandées sont reliées directement à un ordinateur central qui livre les programmes, gère la production et est capable de fournir des informations sur l'état de la production au fur et à mesure du déroulement de celle-ci.

Comparateur
Comparator

Dispositif qui compare 2 données et qui indique la différence entre ces 2 données.

Compensation d'outil automatique sur la longueur
Automatic tool length compensation

Déplacement de l'outil parallèlement à un axe de façon telle que la position réelle de l'outil correspond exactement à la position programmée.

Compensation d'outil automatique sur le diamètre
Automatic tool diameter compensation

Déplacement du centre de l'outil, suivant tantôt 1 axe et tantôt 2 axes, de façon telle que le point de tangence entre la surface usinée et la surface de l'outil correspond exactement à la surface programmée.

Contournage (commande de...)
Contouring control system

Commande de machine par laquelle des mouvements, selon 2 axes ou plus, sont combinés l'un à l'autre de façon à produire une trajectoire linéaire, circulaire, etc.

Contrôle
Control

Terme employé pour définir le directeur de commande numérique.

Convertisseur
Converter

Dispositif qui transforme une donnée numérique en donnée analogique ou une donnée analogique en donnée numérique.

Cycle fixe
Fixed cycle

Suite préétablie d'opérations qui permettent d'exécuter plusieurs mouvements en un seul bloc de programmation.

Dérive
Deviation error

Il y a dérive lorsque la trajectoire réelle de l'outil par rapport à la pièce est décalée de la trajectoire programmée, à cause de l'imprécision de la vitesse des moteurs.

Directeur de commande numérique (DCN)
Director

Équipement d'une MOCN qui dirige les opérations d'usinage. Le DCN accepte les informations à partir d'une bande, d'un ordinateur ou de son clavier. Il calcule les changements de trajectoire dûs aux compensations d'outil et les interpolations. De plus, il dirige les mouvements de la MO via l'interface de communication.

EIA (code...)
EIA code Electrical Industries Association

Code créé par un groupe de manufacturiers d'équipements électroniques. Il est composé de 6 "bits" d'informations, d'un "bit" d'imparité et d'un "bit" réservé au caractère de fin de bloc.

Espace
Space

Volume infini à 3 dimensions.

Fin de bloc (caractère de...)
EOB End Of Bloc character

Caractère utilisé par certains formats de bloc et qui est utilisé pour séparer les blocs entre eux.

Fonction préparatoire
Preparatory function

Une commande qui définit le mode de fonctionnement de la MOCN.

Fonction auxiliaire
Miscellaneous function

Une commande de la MOCN, autre que le contrôle de la coordination de la pièce usinée et de l'outil, généralement du type ON-OFF.

Format de bloc
Block format

L'agencement et la longueur des mots et caractères dans un bloc.

Imprimante
Printer

Organe de sortie des données d'un ordinateur ou d'une MOCN, généralement constitué d'une machine qui imprime à l'aide de caractères.

Impulseur
Incremental encoder

Instrument de mesure numérique et incrémental, placé sur la vis mère ou sur un chariot, permettant de traduire l'avance du chariot en impulsions électriques.

Incrémentales (système de coordonnées...)
Incremental co-ordinate system

Système de coordonnées où chaque point est mesuré par rapport au point précédent. Le calcul des coordonnées d'un point est donc dépendant de la position du point précédent (par opposition à système de coordonnées absolues).

Inertie
Inertia

Résistance que les corps opposent au mouvement et qui provient de leur masse.

Interface de communication
Communication interface

Désigne l'ensemble des moyens de connexion de 2 équipements d'un système d'informatique et/ou d'un système de commande numérique.

Interpolation
Interpolation

Action de déterminer des points intermédiaires situés entre 2 points connus et situés sur une courbe définie mathématiquement, telles une courbe linéaire, une courbe circulaire, etc.

ISO (code...)
ISO code International Organization for Standardization

Code possédant un alphabet de base de 128 caractères. (10 chiffres, 26 lettres majuscules, 26 lettres minuscules, des signes spéciaux et des caractères de commande).

Langage machine-outil
Machine language

Une représentation de codes facilement compréhensibles par l'être humain et transformables en langage binaire par la MOCN.

Langage symbolique
Symbolic language

Langage évolué généralement plus simple à programmer que le langage machine-outil. Le langage APT est un exemple de langage évolué.

Lecteur de bande
Tape reader

Appareil qui lit les trous d'une bande perforée ou les zones magnétiques d'une bande magnétique et qui transforme en signaux électriques les données représentées par ces trous ou ces zones magnétiques.

Logiciel
Software

Recouvre tous les outils qui permettent de traiter de l'information et qui ne sont pas de consistance électronique, mais logique. Ex.: les programmes pièces, les programmes interprètes et les programmes symboliques.

Logique câblée (commande numérique à...)
Relay numerical control logic

Commande numérique réalisée par une série de fils électriques, de relais, etc., sans l'apport d'un ordinateur (par opposition à logique programmée).

Logique programmée (commande numérique à...)
Programmable numerical control logic

Commande numérique réalisée sous la conduite et sous le contrôle d'un ordinateur incorporé, qui réalise quelques-unes ou toutes les fonctions de base de la CN (par opposition à commande numérique à logique câblée).

Lot de rattrapage
Retrofit kit

Lot de pièces nécessaires pour convertir une MO classique en MOCN.

Machine-outil
Machine tool

Machine servant à usiner les métaux.

Machine-outil à commande numérique (MOCN)
Numerically controlled machine tool

Machine-outil qui fonctionne à partir des applications et techniques de la commande numérique.

Manuscrit
Manuscript

Papier écrit à la main, par le programmeur, contenant le programme pièce en langage machine-outil.

Mémoire
Memory

Dispositif d'un ordinateur permettant l'enregistrement de l'information, sa mise en réserve aussi longtemps que nécessaire et sa restitution au besoin.

Modale (fonction...)
Modal function

Fonction préparatoire qui est susceptible d'affecter le mode de programmation de la MOCN (par opposition à fonction non modale).

Mot
Word

Ensemble de caractères parfois précédés d'une adresse.

Non modale (fonction...)
No-modal function

Fonction préparatoire qui n'affecte pas le mode de programmation de la MOCN (par opposition à fonction modale).

Numérique (donnée...)
Numerical data

Relatif à une donnée exprimée par une valeur discrète ou discontinue (par opposition à donnée analogique).

Ordinateur
Computer

Machine automatique qui permet d'effectuer, dans le cadre de programmes de structures préétablies, des ensembles d'opérations arithmétiques et logiques.

Origine machine
Machine datum

Position de référence du zéro de chaque axe, incorporée dans la machine par le constructeur.

Origine outil
Tool origin

Position de l'outil, par rapport à la pièce, permettant un changement d'outil sans risque de collisions. Cette origine est souvent située au point SP (Starting Point).

Origine programme
Floating zero

Position d'un point de référence sur les axes qui peut être défini par le programmeur en tout point de l'espace de travail.

Parallèle (transfert en...)
Parallel transfert

Un système de transfert de données dans lequel les éléments d'un caractère sont transférés simultanément à travers un certain nombre de pistes (par opposition à transfert en série).

Perforatrice de bandes
Punch tape

Appareil connecté à un ordinateur ou à une MOCN et servant à emmagasiner l'information, sous forme codée, par la perforation d'une bande perforée.

Petit bond
Stick-slip

Phénomène physique aboutissant à l'avance saccadée des chariots lors de déplacements très lents.

Piste
Track

Le chemin ou l'un des chemins utilisé pour transférer des informations. Sur une bande, une piste est parallèle au sens de la longueur de la bande.

Plan
Plane

Surface infinie à 2 dimensions contenant entièrement toute droite joignant 2 de ses points.

Point à point (commande...)
Point to point control system

Commande de la trajectoire des chariots où le déplacement, d'un point à un autre point, s'exécute sans contrôle de la trajectoire.

Programmation
Programming

La programmation comprend l'analyse et l'agencement des informations, puis l'écriture et la mise au point d'un programme.

Programme
Program

Ensemble d'instructions nécessaires à l'exécution d'une suite d'opérations, possédant une structure logique qui est celle du problème à résoudre. Le programme doit être écrit dans une forme acceptable par la MOCN.

Programme pièce
Part program

Ensemble d'instructions nécessaires à l'usinage d'une pièce donnée sur une MOCN, écrit en langage machine-outil et qui indique la suite des opérations à faire exécuter par une MOCN.

Programme interprète
Software

Ensemble d'instructions permettant de réduire la difficulté de programmation du programme pièce et qui peut comprendre des interpolateurs, des cycles fixes, etc.

Règle inductosyn
Inductosyn ruler

Instrument de mesure analogique et linéaire qui traduit en tension électrique la position du chariot.

Rétroaction
Feedback

Partie d'un système en boucle fermée qui consiste à acquérir de l'information à la sortie d'un système pour la comparer à un signal d'entrée de ce même système.

Résolveur
Resolver

Instrument de mesure analogique et rotatif permettant de connaître la position des chariots en traduisant en tension électrique la position angulaire de la vis mère.

Rotation
Rotation

Mouvement d'un corps ou d'un élément géométrique tournant autour d'une ligne droite (par opposition à translation).

Série (transfert en...)
Serial transfert

Un système de transfert de données dans lequel les éléments d'un caractère sont transférés l'un après l'autre à travers une seule et même piste (par opposition à transfert en parallèle).

Servo-mécanisme
Servomechanism

Système de commande en boucle fermée.

Simulateur
Simulator

Représentation sur un ordinateur ou sur certains DCN du trajet de l'outil, par rapport à la pièce à usiner, dans le but de faciliter la programmation et de prévenir les risques de collisions lors de l'usinage.

Sous-programme
Subroutine

Programme autonome pouvant être utilisé lors de l'exécution d'un autre programme, appelé le programme principal. Un sous-programme peut être appelé plusieurs fois par le programme principal.

Support d'informations
Information media

Les outils qui permettent à l'homme de communiquer de l'information à la machine, à la machine de retourner de l'information à l'homme et qui permet à la machine de conserver et d'exploiter des informations.

Tabulation (caractère de...)
Tabulation character

Caractère de commande qui sert à séparer les mots d'un même bloc entre eux, lors de l'emploi d'un format de bloc à tabulation. Le 1er mot du bloc est séparé du bloc précédent par un caractère de fin de bloc.

Tachymètre
Tachometer

Instrument de mesure servant à mesurer la vitesse de rotation d'un organe tournant, généralement gradué en RPM.

Temporisation
Dwell

Une pause d'une durée déterminée lors de l'exécution du programme pièce. L'outil reste immobile pendant cette pause.

Translation
Translation

Déplacement suivant une ligne droite (par opposition à rotation).

Vitesse périphérique ou tangentielle
Peripheral speed

Vitesse d'un point situé à la surface d'un corps en rotation, exprimée généralement en pi/min ou en m/min.

ANNEXE D

[illegible]

[illegible]
[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]
[illegible]

[illegible]
[illegible]

INDEX

----- A -----

Abscisse, 1-71
Absolue (coordonnée...), 1-56, 2-15, 2-71
Absolue (instrument de mesure...), 1-115
Actionneur, 1-126, 1-131
- hydraulique, 1-131
- pneumatique, 1-131
Adresse, 1-167, 2-12
Adresses (format de bloc à...), 1-168, 2-12
Aire, 1-80
Algèbre, 1-44
- définition, 1-44
- opérateur, 1-45
- règle d'algèbre, 1-45
- règle de trois, 1-49
Alphanumérique, 1-22, 1-149, 1-166
Analogique (instrument de mesure...), 1-114, 1-116, 1-123
Angle, 1-85
ARC SIN, 1-101
Arrosage, 2-53, 2-103
ASCII (code...), 1-158
Avance (vitesse d'...) (mot E et F), 2-49, 2-101
Avantages de la MOCN, 1-31
Axe, 1-53
- définition, 1-53
- principal de translation, 1-183, 2-12, 2-72
- secondaire de translation, 1-184, 2-12, 2-72
- tertiaire de translation, 1-184
Axes (convention d'...), 1-177
Axes (système d'...), 1-176
- de la table d'une fraiseuse, 1-181
- d'une fraiseuse horizontale, 1-180
- d'une fraiseuse verticale, 1-179
- d'un tour, 1-177

----- B -----

Bande magnétique, 1-151, 1-156
Bande perforée, 1-149, 1-154
Binaires (système des nombres...), 1-144
Bloc d'informations, 1-166, 2-13, 2-72
Boucle fermée, 1-110, 1-113, 1-127
Boucle ouverte, 1-110, 1-112, 1-127, 1-135

----- C -----

Capteur, 1-34, 1-110, 1-114
Caractère alphanumérique, 1-22, 1-149, 1-166
Cartésiennes (système de coordonnées...), 1-54, 1-61
Cercle, 1-76

Changement d'outil, 1-172
Changement d'outil automatique, 1-126, 1-131, 2-53, 2-102
Circonférence, 1-80
Circulaire (interpolateur...), 1-138, 2-19, 2-77
Classique (machine-outil...), 1-26
Code ASCII, 1-158
Code EIA, 1-158, 2-72
Code ISO, 1-158, 2-72
Codeur, 1-119
Commande de déplacement, 1-134
- contournage ou continu, 1-127, 1-135
- point à point, 1-134, 2-77
Commande numérique
- définition, 1-22
- historique, 1-23
Commande numérique avec ordinateur (CNC), 1-24, 1-34
Commande numérique directe (DNC), 1-25, 1-152
Comparateur, 1-113, 1-119, 1-123
Compensations d'outil pour une fraiseuse, 2-26, 2-50, 2-115
- automatiques, 2-137, 2-159
- diamètre d'outil, 2-140
- géométries particulières, 2-147
- longueur d'outil, 2-115
Compensations d'outil pour un tour, 2-79, 2-84, 2-102, 2-167
- automatiques, 2-191
- par rapport au point P, 2-174
- par rapport au point S, 2-184
Concave, 2-145, 2-180
Constituant technologique, 1-107
Contournage, 1-127, 1-135
Contrôle, 2-12, 2-71
Convention d'axes, 1-177
Conversion, 1-52
Convertisseur, 1-119, 1-123
Convexe, 2-146, 2-181
Coordonnée absolue, 1-56, 2-15, 2-71
Coordonnée incrémentale, 1-59, 2-15, 2-71
Coordonnée polaire, 1-68
Coordonnées (repère de...), 1-53, 1-169
Coordonnées (système cartésien de...), 1-54
Cosécante, 1-101
Cosinus, 1-100
Cotangente, 1-101
Crémaillère creuse à vis sans fin, 1-133
Cycle fixe d'usinage, 2-34

----- D -----

Décimaux (système des nombres...), 1-145
Définition
- algèbre, 1-44
- axe, 1-53
- commande numérique, 1-22
Degré, 1-87, 1-97

Dérive, 1-135
Désavantages de la MOCN, 1-32
Diamètre, 1-80
Diamètre d'outil (fraisage), 2-140
Direct (instrument de mesure...), 1-115
Directeur de commande numérique (DCN), 1-26, 1-34, 1-144, 2-12
Discriminant, 1-81
Distance, 1-87
Droite, 1-71

----- E -----

Écrou à billes, 1-132
EIA (code...), 1-158, 2-72
Électrique à courant continu (moteur...), 1-127
Ellipse, 1-84
EOB, 1-167
Espace (système cartésien de coordonnées dans l'...), 1-61

----- F -----

Feedback, 1-110
Filetage, 2-82, 2-86, 2-95
Fonction auxiliaire (mot M), 2-51, 2-102
Fonction modale, 2-14
Fonction non modale, 2-14
Fonction préparatoire (mot G), 2-14, 2-74
Fonction trigonométrique, 1-100
Fonction trigonométrique inverse, 1-101
Format de bloc
- fixe, 1-167
- variable à adresse, 1-168, 2-12
- variable à tabulation, 1-167

Formule mathématique, 1-48, 1-104, 1-106
Fraisage
- compensation d'outil, 2-26, 2-50, 2-115
- programmation, 2-11
- tableau de programmation, 2-56

Fraiseuse horizontale (système d'axes d'une...), 1-180
Fraiseuse verticale (système d'axes d'une...), 1-179
Frottement, 1-132, 1-134

----- G -----

Géométrie analytique, 1-53
Géométrie de l'outil d'un tour, 2-168
Géométrie (compensation d'outil), 2-147
Glissière, 1-134

----- H -----

Historique de la commande numérique, 1-23
Hydraulique (actionneur...), 1-131
Hydraulique (moteur...), 1-128

Hyperbole, 1-84
Hypoténuse, 1-88

----- I -----

Image miroir, 2-43
Imprimante, 1-156
Impulseur, 1-121
Incrémental (instrument de mesure...), 1-115
Incrémentale (coordonnée...), 1-59, 2-15, 2-71
Indirect (instrument de mesure...), 1-115
Inertie, 1-108, 1-128
Instrument de mesure, 1-114
 - absolu, 1-115
 - analogique, 1-114, 1-116, 1-123
 - direct, 1-115
 - incrémental, 1-115
 - indirect, 1-115
 - linéaire, 1-115, 1-119
 - numérique, 1-114, 1-119, 1-123
 - rotatif, 1-115, 1-119
Interface, 1-24, 1-26, 1-151
Interpolateur, 1-40, 1-136, 1-144,
 - circulaire, 1-138, 2-19, 2-77
 - linéaire, 1-136, 2-18, 2-77
 - parabolique, 1-139
Introduction de programmes, 1-143
 - manuelle, 1-149
 - par l'intermédiaire d'un ordinateur, 1-151
 - par l'intermédiaire d'un support d'informations, 1-149
ISO (code...), 1-158, 2-72

----- J -----

Jeu, 89, 1-132

----- K -----

----- L -----

Langage machine-outil, 1-149, 1-166
Langage symbolique, 1-152
Largeur de l'outil, 2-169
Lecteur, 1-154
 - de bandes perforées, 1-154
 - de bandes magnétiques, 1-155
Linéaire (instrument de mesure...), 1-115, 1-119
Linéaire (interpolateur...), 1-136, 2-18, 2-77
Logique câblée (LC), 1-35
Logique programmée (LP), 1-38
Longueur d'outil (fraisage), 2-116
Longueur d'outil (tournage), 2-168

----- M -----

Machine-outil (MO), 1-22
Machine-outil à commande numérique (MOCN), 1-26
- avantages, 1-31
- désavantages, 1-32
Machine-outil classique, 1-26
Manuelle (introduction de programmes...), 1-149
Mathématique, 1-43
Mémoire, 1-24, 1-40, 1-149
Millimètres (programmation en...), 2-16, 2-75
Minute, 1-87
Miroir (image...), 2-43
Modale (fonction...), 2-14
Mot, 1-167
Mot (fraisage)
- D temporisation, 2-55
- F vitesse d'avance, 2-49
- G fonction préparatoire, 2-14
- M fonction auxiliaire, 2-51
- N numéro de bloc, 2-13
- S vitesse de rotation de la broche, 2-50
- T sélection de l'outil, 2-50
Mot (tournage)
- E et F vitesse d'avance, 2-101
- G fonction préparatoire, 2-74
- M fonction auxiliaire, 2-102
- N numéro de bloc, 2-72
- O numéro de programme, 2-72
- S vitesse de rotation de la broche, 2-101
- T sélection de l'outil, 2-102
- U et W coordonnées incrémentales, 2-71
Moteur, 1-126
- à vitesse constante, 1-130
- à vitesse variable, 1-129
- électrique à courant continu, 1-127
- hydraulique, 1-128
- pas à pas, 1-126, 1-135
- système moteur - boîte d'engrenage, 1-129

----- N -----

Nombre binaire, 1-144
Nombre décimal, 1-145
Non modale (fonction...), 2-14
Numérique (instrument de mesure...), 1-114, 1-119, 1-123
Numéro de bloc (mot N), 2-13, 2-72
Numéro de programme (mot O), 2-72

----- O -----

Opérateur d'algèbre, 1-45
Ordinateur (introduction de programmes à l'aide d'un...), 1-151
Ordonnée, 1-71

Organe de logique, 1-34
Organe de perception, 1-34
Organe de transmission de mouvements de translation, 1-132
- crémaillère creuse à vis sans fin, 1-133
- écrou à billes, 1-132
Organe de travail, 1-34
Origine, 1-169
Origine machine (Om), 1-169, 2-98
Origine outil (Oo), 1-172, 2-16
Origine programme (Op), 1-170, 2-16

----- P -----

Parabole, 1-81
Parabolique (interpolateur...), 1-139
Parallèle (transfert en...), 1-153
Pas à pas (moteur...), 1-126, 1-135
Pente, 1-71
Perçage (cycle de...), 2-34, 2-92
Perforatrice, 1-155
Perpendiculaire, 1-75
Petit bond, 1-134
Plan (système cartésien de coordonnées dans le...), 1-54
Pneumatique (actionneur...), 1-131
Point à point, 1-134, 2-77
Point P, 2-172, 2-184
Point S, 2-173, 2-174
Polaire (coordonnée...), 1-68
Pouces (programmation en...), 2-16, 2-74
Précision, 1-109, 2-41
Programmation manuelle, 1-165
Programme interprète, 1-144
Programme pièce, 1-144
Pythagore, 1-87

----- Q -----

Quadrant, 1-61, 2-22, 2-78

----- R -----

Radian, 1-97
Racine, 1-81
Rayon, 1-76, 1-80
Règle d'algèbre, 1-45
Règle de trois, 1-49
Règle inductosyn, 1-118
Repère de coordonnées, 1-53, 1-169
Résolveur, 1-116
Rétroaction, 1-110
Retrofit, 1-33
Rotatif (instrument de mesure...), 1-115, 1-116, 1-119
Rotation, 1-66, 1-184, 2-12, 2-72
Rotation de la broche (vitesse de...) (mot S), 2-50, 2-101

----- S -----

Sécante, 1-101
Seconde, 1-87
Sélection de l'outil (mot T), 2-50, 2-102
Série (transfert en...), 1-153
Simulateur, 1-152
Sinus, 1-100
Sous-programme, 2-31, 2-103
Support d'informations, 1-149, 1-156
Surépaisseur, 2-159, 2-176
Symétrie, 2-43
Système des nombres binaires, 1-144
Système cartésien de coordonnées, 1-54
- espace, 1-61
- plan, 1-51
Système d'axes, 1-176
- de la table d'une fraiseuse, 1-181
- d'une fraiseuse horizontale, 1-180
- d'une fraiseuse verticale, 1-179
- d'un tour, 1-177
Système des nombres décimaux, 1-145
Système moteur - boîte d'engrenage, 1-129

----- T -----

Tableau
- code EIA, 1-159
- code ISO, 1-160
- conversion, 1-52
- formule mathématique, 1-48, 1-104, 1-106
- instruments de mesure, 1-125
- programmation pour une fraiseuse, 2-56
- programmation pour un tour, 2-63
Tableau des compensations d'outil, 2-51, 2-84, 2-159, 2-191
Table d'une fraiseuse (système d'axes de la...), 1-181
Tabulation (format de bloc à...), 1-167
Tachymètre, 1-122
Tangente, 1-101
Taraudage (cycle de...), 2-37
Technologique (constituant...), 1-107
Temporisation, 2-14, 2-55, 2-98
Tour (système d'axes d'un...), 1-177
Tournage
- compensations d'outil, 2-79, 2-84, 2-102, 2-167
- programmation, 2-71
- tableau de programmation, 2-105
Transfert en parallèle, 1-153
Transfert en série, 1-153
Translation, 1-66
Translation (axe principal de...), 1-183, 2-12, 2-72
Translation (axe secondaire de...), 1-184, 2-12, 2-72
Translation (axe tertiaire de...), 1-184
Triangle quelconque, 1-104

Triangle rectangle, 1-87
Triangle semblable, 1-94
Trigonométrie, 1-97

----- U -----

Unité de mesure, 1-169
Usinage de forme concave, 2-145, 2-180
Usinage de forme convexe, 2-146, 2-181

----- V -----

Vis mère, 1-112, 1-133
Vitesse constante (moteur à...), 1-130
Vitesse d'avance (mot E et F), 2-49, 2-101
Vitesse de rotation de la broche (mot S), 2-50, 2-101
Vitesse périphérique, 2-75
Vitesse variable (moteur à...), 1-129

----- W -----

----- X -----

----- Y -----

----- Z -----

La commande numérique prend de plus en plus de place dans l'industrie québécoise. Aujourd'hui, beaucoup de grandes entreprises et aussi beaucoup de PME sont équipées de machines à commande numérique. Ces machines ne peuvent fonctionner sans opérateur et sans programmeur qualifiés. Certaines entreprises entraînent elles-mêmes leur personnel; d'autres engagent du personnel qualifié sortant des écoles. C'est là que nous intervenons.

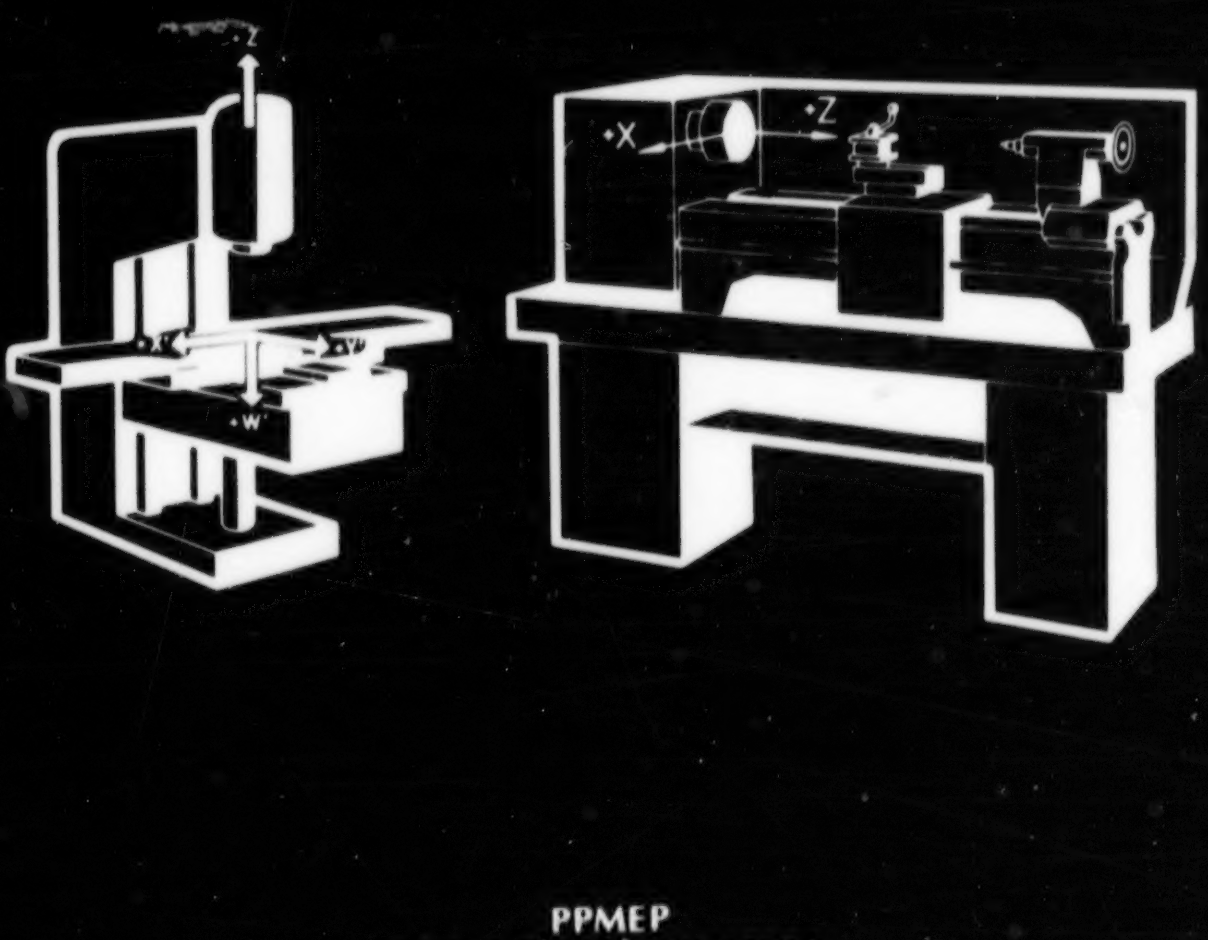
Au Québec, plusieurs écoles secondaires enseignent la commande numérique. Un problème se pose toutefois; il y a un manque de matériel didactique adéquat. Nous avons tenté de créer un manuel d'apprentissage de la commande numérique de langue française, adapté au niveau professionnel et que nous avons voulu le plus complet possible.

Ce manuel s'adresse à ceux qui veulent devenir opérateur ou programmeur de MOCN. Le langage de programmation utilisé est le langage machine aussi appelé la programmation manuelle.

UNIVERSITÉ
DE SHERBROOKE

MANUEL D'APPRENTISSAGE DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

MILAN BREZINA
DENIS DUBÉ
en collaboration avec
HÉLÈNE OUELLET



PPMEP
FACULTÉ D'ÉDUCATION
ÉDITIONS DU CRP

CAHIER 4

EDUQ 87705700

Ce manuel comprend 17 parties distinctes réparties en 4 cahiers séparés. Voici un survol de chacun des cahiers.

- Le cahier 1 présente la nomenclature des symboles utilisés dans ce manuel, une introduction, des définitions et l'historique de la commande numérique, un rappel mathématique et une description des constituants des machines-outils à commande numérique (MOCN). Il traite des supports d'informations utilisés en commande numérique, de la syntaxe d'un programme et des conventions d'axes.

- Le cahier 2 renferme les codes de programmation pour les opérations de fraisage et de tournage; il traite aussi des compensations d'outil pour ces mêmes opérations.

- Le cahier 3 expose 13 projets d'usinage permettant à l'élève d'assimiler la matière enseignée et de l'appliquer sur les machines-outils à commande numérique. Il comprend un lexique et un index des principaux termes employés dans le manuel.

- Le cahier 4 s'adresse au professeur ou à toute autre personne qui voudront prendre le cours de façon autodidacte. Il contient le corrigé des travaux, un test et le corrigé du test pour chacun des chapitres sauf le chapitre 2 qui, lui, est jonché d'exercices. Il contient aussi les résultats des projets d'usinage du cahier 3.

Le manuel proprement dit contient 9 chapitres répartis dans les cahiers 1 et 2; il est complété par les annexes A à H qui forment les cahiers 3 et 4. Nous tenons à souligner que l'ordre de présentation des cahiers correspond à celui que nous jugeons le meilleur, mais il ne représente pas un cheminement strict d'utilisation. À tous, bon apprentissage!

N.B. La reproduction totale ou partielle des cahiers 1, 2 et 3 est interdite. Toutefois, pour des raisons pratiques, nous autorisons les enseignants à reproduire le cahier 4 dans le but de distribuer des tests et des corrigés aux élèves.

MILAN BREZINA
Professeur agrégé
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

DENIS DUBÉ
Ingénieur en mécanique
Dép. de génie mécanique
Fac. des sciences appliquées

en collaboration avec

HÉLÈNE OUELLET
Professeure agrégée
Dép. de pédagogie
Faculté d'éducation

MANUEL D'APPRENTISSAGE

DE L'OPÉRATEUR ET DU PROGRAMMEUR

DE MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE

--- 4 ---

PPMEP

FACULTÉ D'ÉDUCATION

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Le présent manuel a été réalisé grâce à une subvention accordée par le ministère de l'Enseignement supérieur de la Science et de la Technologie dans le cadre du programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel.

© Publication du CRP

Tous droits réservés
Université de Sherbrooke
Faculté d'éducation
Programme de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel

3e trimestre 1986

ISBN 2-920859-05-6 (ensemble des 4 cahiers)
ISBN 2-920859-04-8 (cahier 4)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur participation à l'élaboration de ce manuel:

HENRI-CLAUDE LAINESSE, enseignant à l'école l'Escale d'Asbestos, pour sa participation à l'expérimentation avec son groupe d'élèves;[1]

ANDRÉ MARTIN, ingénieur, pour la réalisation de la plupart des figures du manuel;

JACYNTHE RODRIGUE, enseignante, pour la correction du français et de diverses tâches de secrétariat;

JEAN LAPOINTE, professeur au département de génie mécanique, pour sa collaboration;

GAÉTAN LAFLAMME, PIERRETTE DUPONT ET GÉRARD-RAYMOND ROY, responsables du PPMEP.

---

1 Dans ce manuel, le genre neutre masculin concerne également, s'il y a lieu, les hommes et les femmes, les élèves (garçons et filles), etc.

TABLE DES MATIÈRES

ANNEXES

CAHIER 4

Table des matières....................................7

Annexe E LES CORRIGÉS ET LES TESTS....................9

Corrigés et test du chapitre 1........................11

Corrigés et test du chapitre 3........................15

Corrigés et test du chapitre 4........................21

Corrigés et test du chapitre 5........................31

Corrigés et test du chapitre 6........................39

Corrigés et test du chapitre 7........................51

Corrigés et test du chapitre 8........................57

Corrigés et test du chapitre 9........................81

Annexe F TABLEAUX.....................................93

Annexe G LES RÉSULTATS DES PROJETS DE FRAISAGE.........101

G1 Pièce no 1 Le carré................................103

G2 Pièce no 2 Le contournage..........................117

G3 Pièce no 3 Le piédestal............................129

G4 Pièce no 4 La poche................................147

G5 Pièce no 5 Le perçage..............................161

G6 Pièce no 6 Le 'S'..................................173

G7 Pièce no 7 La croix................................197

Table des matières

Annexe H LES RÉSULTATS DES PROJETS DE TOURNAGE............209

H1 Pièce no 1 Les rainures......................................211

H2 Pièce no 2 Les rondelles....................................223

H3 Pièce no 3 Le filetage extérieur..........................241

H4 Pièce no 4 Le gros "smarties"............................255

H5 Pièce no 5 Le filetage intérieur..........................269

H6 Pièce no 6 Le pion..289

ANNEXE E

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

TRAVAUX (CORRIGÉ)

---

1 - Oui, le dessin technique est une application de la commande numérique. (Section 1.1)

2 - Le soudage est devenu une application de la commande numérique vers 1965. (Section 1.2)

3 - C'est John C. Parsons qui a eu cette idée. (Section 1.2)

4 - Il est vrai que les MOCN sont généralement plus productives que les MO classiques. (Section 1.3.3)

5 - A) Organe de travail. (Section 1.4)
    B) Organe de logique.
    C) Organe de perception.
    D) Organe de travail.
    E) Organe de logique.
    F) Organe de perception.
    G) Organe de perception.

6 - C'est le directeur de commande numérique qui est complètement modifié. (Section 1.4)

7 - D) 1863 - L'invention du piano mécanique. (Section 1.2)
    C) 1959 - La naissance du APT.
    A) 1968 - La naissance de la CNC.
    B) 1980 - L'affichage graphique.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

TEST

---

1 - Que signifient les abréviations MOCN, LP, DCN et CNC?

2 - Quels sont les 3 composantes principales d'une MOCN?

3 - Nommez 3 avantages de la MOCN sur la MO classique.

4 - Nommez 2 désavantages de la MOCN sur la MO classique.

5 - Laquelle des 2 machines suivantes est la plus ancienne?

A) Une MOCN (type LC).
B) Une MOCN (type LP).

6 - Les énoncés suivants sont-ils vrais ou faux?

A) Un système à logique programmée est plus cher qu'un système à logique câblée.

B) Un système à logique programmée se programme plus facilement qu'un système à logique câblée.

C) Un système à logique programmée a une capacité de mémoire plus faible qu'un système à logique câblée.

7 - Les paramètres suivants peuvent-ils être contrôlés par une MOCN?

A) Le déplacement de l'outil.
B) La température de la pièce usinée.
C) L'arrosage de la pièce.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

TEST (CORRIGÉ)

---

1 - MOCN signifie Machine-Outil à Commande Numérique. (Section 1.2)
- LP signifie Logique Programmée. (Section 1.4)
- DCN signifie Directeur de Commande Numérique. (Section 1.3)
- CNC signifie Commande Numérique par Calculateur. (Section 1.4)

2 - Les 3 composantes principales d'une MOCN sont la machine, le DCN et l'interface. (Section 1.3.1)

3 - Les avantages de la MOCN sur la MO classique sont les suivants: (Section 1.3.3)

- usinage de meilleure précision,
- prend moins de place,
- taux de production plus élevé,
- inventaire d'outils moins dispendieux,
- fiabilité accrue,
- inventaire de pièces réduit,
- inspection moins coûteuse,
- similitude des pièces plus grande,
- risque de blessure réduit.

4 - Les désavantages de la MOCN sur la MO classique sont les suivants: (Section 1.3.4)

- prix d'achat élevé de la MOCN,
- demande en main-d'oeuvre spécialisée,
- entretien plus délicat,
- la MOCN ne pense pas.

5 - La MOCN (type LC) est plus ancienne que la MOCN (type LP). (Section 1.2)

6 - A) Faux (Section 1.4)
B) Vrai
C) Faux

7 - A) Oui (Section 1.1)
B) Non
C) Oui

CHAPITRE 3

CONSTITUANTS TECHNOLOGIQUES D'UNE MOCN

TRAVAUX (CORRIGÉ)

---

1 - A) Le résolveur est rotatif, indirect, analogique et absolu sur une révolution. (Section 3.3)

B) Le codeur est linéaire ou rotatif, direct ou indirect, numérique et absolu.

C) L'impulseur est linéaire ou rotatif, direct ou indirect, numérique et incrémental.

2 - Le tachymètre. (Section 3.3.3)

3 - A) Oui, si l'on convertit la valeur programmée en valeur analogique. (Section 3.3.4)

B) Oui, si l'on convertit la valeur mesurée en valeur numérique.

C) Non.

4 - Le moins puissant est le moteur pas à pas. Ensuite vient le moteur électrique à courant continu; le plus puissant est le moteur hydraulique. (Section 3.4.1)

5 - Le moteur pas à pas. (Section 3.4.1)

6 - Le moteur à vitesse variable. Son défaut est que, à basse vitesse, la puissance fournie est faible. (Section 3.4.2)

7 - Le moteur commande et peut fournir la puissance. L'actionneur ne peut que fournir la puissance. (Section 3.4.3)

8 - Ce phénomène se nomme "petit bond". (Section 3.5.3)

9 - C) Les 2 MCN pourront effectuer le travail demandé, mais celle munie d'un système de commande "point à point" étant la moins chère est la MCN recommandée. (Section 3.6)

10 - B) La MCN munie d'un système de commande de "contournage" sera la seule MCN susceptible d'effectuer le travail demandé. (Section 3.6)

11 - Entre X1=2 et X2=7, il y a 3 points intermédiaires, donc 4 espaces égaux dans 5 centimètres (7 - 2 = 5 centimètres). L'espacement selon l'axe X entre 2 points est donc de...[1] (Section 3.6.3)

$$\frac{5 \text{ centimètres}}{4 \text{ espaces}} = 1.25 \text{ cm/espace}$$

Les 3 points intermédiaires se trouvent donc à X = 3.25, 4.5 et 5.75 centimètre.

On peut à partir des points P1 (2 , 2) et P2 (7 , 4) calculer l'équation de la droite passant par P1 et P2.

On trouve $Y = .4 X + 1.2$

En substituant les valeurs de X dans l'équation, on trouve les valeurs de Y appropriées.

Les 3 points sont:

E1 (3.25 , 2.5)
E2 (4.50 , 3.0)
E3 (5.75 , 3.5)

Maintenant, calculons la distance entre les points P1 et P2.

$$\text{Distance} = \sqrt{(7 - 2)^2 + (4 - 2)^2}$$
$$\text{Distance} = 5.3852 \text{ centimètres}$$

---

1 Voir la nomenclature dans le cahier 1 pour la signification des symboles.

Par une règle de trois, on trouve la vitesse suivant l'axe X et Y.

Suivant l'axe X

5.3852 centimètres correspond à 150 mm/min
5.0000 centimètres correspond à ?

d'où la vitesse suivant l'axe X = 139.27 mm/min.

Suivant l'axe Y

5.3852 centimètres correspond à 150 mm/min.
2.0000 centimètres correspond à ?

d'où la vitesse suivant l'axe Y = 55.71 mm/min.

CHAPITRE 3

CONSTITUANTS TECHNOLOGIQUES D'UNE MOCN

TEST

1 - Un cadran digital est un instrument de mesure analogique ou numérique?

2 - Une horloge à aiguilles est un instrument de mesure analogique ou numérique?

3 - Le cadran digital et l'horloge à aiguilles sont-ils des instruments de mesure absolus ou incrémentaux?

4 - Lorsqu'on parle de "feedback" ou de rétroaction, fait-on allusion à un système travaillant en boucle ouverte ou en boucle fermée?

5 - Quel type d'actionneur est bruyant?

6 - Quel est le fluide le plus utilisé avec un actionneur hydraulique? (Un liquide et un gaz sont des fluides.)

7 - Quel est le fluide le plus utilisé avec un actionneur pneumatique?

8 - Nommez 2 types d'interpolateur.

9 - La précision des mesures ne dépend que de la précision de l'instrument de mesure. Vrai ou Faux?

10 - Un éléphant a plus d'inertie qu'une tortue. Vrai ou Faux?

CHAPITRE 3

CONSTITUANTS TECHNOLOGIQUES D'UNE MOCN

TEST (CORRIGÉ)

---

1 - Un cadran digital est un instrument de mesure numérique. (Section 3.3)

2 - Une horloge à aiguilles est un instrument de mesure analogique. (Section 3.3)

3 - Ils sont tous 2 des instruments de mesure absolus sur un cycle (12 heures ou 24 heures). (Section 3.3)

4 - On fait allusion à un système travaillant en boucle fermée. (Section 3.2.2)

5 - C'est l'actionneur pneumatique qui est bruyant. (Section 3.4.3)

6 - C'est l'huile qui est le fluide le plus utilisé avec un actionneur hydraulique. (Section 3.4.3)

7 - C'est l'air qui est le fluide le plus utilisé avec un actionneur pneumatique. (Section 3.4.3)

8 - L'interpolateur linéaire et circulaire. Il y a aussi l'interpolateur parabolique, l'interpolateur du 3e degré, du 4e degré, etc. (Section 3.6.3)

9 - Faux, la précision des mesures dépend aussi des jeux et déformations des constituants. (Section 3.1)

10 - Vrai, plus la masse est grande, plus l'inertie est grande. (Section 3.1)

CHAPITRE 4

L'INTRODUCTION DE PROGRAMMES DANS LA MOCN

TRAVAUX (CORRIGÉ)

---

1 - Ce sont les programmes interprètes qui sont généralement fournis par le constructeur. (Section 4.1)

2 - Le chiffre le moins significatif se trouve à la droite du nombre. (Section 4.2.4)

3 - La mémoire du DCN n'accepte que des nombres binaires. (Section 4.3)

4 - L'introduction manuelle, puisque la MOCN ne peut produire de pièces pendant que le programmeur introduit son programme pièce. (Section 4.3.1)

5 - La bande perforée est composée de papier, de mylar, d'aluminium ou d'un mélange de mylar et d'aluminium. (Section 4.3.2)

6 - C'est sur la bande magnétique qu'on peut emmagasiner la plus grande quantité d'informations. (Section 4.3.2)

7 - Faux: le transfert en série est moins rapide que le transfert en parallèle. (Section 4.3.3)

8 - Le lecteur de bandes magnétiques est sensible à la poussière. (Section 4.4.1)

9 - C'est le code ISO qui donne toujours un nombre pair de perforations par ligne. (Section 4.5.2)

10 - C'est la piste numéro 5 qui contrôle l'imparité avec le code EIA. (Section 4.5.1)

11 - Le nombre 427 décomposé... (Section 4.2.1)

$4 * 10^2$

$2 * 10^1$

$7 * 10^0$

Le nombre 1731 décomposé...

$1 * 10^3$

$7 * 10^2$

$3 * 10^1$

$1 * 10^0$

Le nombre 1010 décomposé...

$1 * 10^3$

$0 * 10^2$

$1 * 10^1$

$0 * 10^0$

12 - Le nombre 101 décomposé... (Section 4.2.1)

$1 * 2^2$

$0 * 2^1$

$1 * 2^0$

Le nombre 1010 décomposé...

$1 * 2^3$

$0 * 2^2$

$1 * 2^1$

$0 * 2^0$

Le nombre 11011 décomposé...

$1 * 2^4$

$1 * 2^3$

$0 * 2^2$

$1 * 2^1$

$1 * 2^0$

13 - Le nombre binaire 10011 converti en décimal...
(Section 4.2.3)

10000	$1 * 2^4$	1 * 16	16
0000	$0 * 2^3$	0 * 8	0
000	$0 * 2^2$	0 * 4	0
10	$1 * 2^1$	1 * 2	2
1	$1 * 2^0$	1 * 1	+ 1
			19

Réponse: 19

Vérification: 19 / 2 = 9 reste 1 (CMS)

9 / 2 = 4 reste 1

4 / 2 = 2 reste 0

2 / 2 = 1 reste 0

1 / 2 = 0 reste 1 (CPS)

Réponse: 1 0 0 1 1
(CPS) (CMS)

Le nombre binaire 10011 est le même que celui donné au début du problème.

14 - Le nombre décimal 1427 converti en binaire...
(Section 4.2.4)

1427 / 2 = 713 reste 1 (CMS)

713 / 2 = 356 reste 1

356 / 2 = 178 reste 0

178 / 2 = 89 reste 0

```
89 / 2 = 44 reste 1
44 / 2 = 22 reste 0
22 / 2 = 11 reste 0
11 / 2 =  5 reste 1
 5 / 2 =  2 reste 1
 2 / 2 =  1 reste 0
 1 / 2 =  0 reste 1  (CPS)
```

Réponse: 10 110 010 011
(CPS) (CMS)

Vérification:

10000000000	$1 * 2^{10}$	$1 *$	1024	1024
0000000000	$0 * 2^{9}$	$0 *$	512	0
100000000	$1 * 2^{8}$	$1 *$	256	256
10000000	$1 * 2^{7}$	$1 *$	128	128
0000000	$0 * 2^{6}$	$0 *$	64	0
000000	$0 * 2^{5}$	$0 *$	32	0
10000	$1 * 2^{4}$	$1 *$	16	16
0000	$0 * 2^{3}$	$0 *$	8	0
000	$0 * 2^{2}$	$0 *$	4	0
10	$1 * 2^{1}$	$1 *$	2	2
1	$1 * 2^{0}$	$1 *$	1	+ 1
				1427

Réponse: 1427

Le nombre décimal 1427 est le même que celui donné au début du problème.

15 - Le nombre décimal 74294 converti en binaire...
(Section 4.2.4)

```
74294 / 2 = 37147 reste 0  (CMS)
37147 / 2 = 18573 reste 1
18573 / 2 =  9286 reste 1
 9286 / 2 =  4643 reste 0
 4643 / 2 =  2321 reste 1
 2321 / 2 =  1160 reste 1
```

1160	/	2	=	580	reste	0
580	/	2	=	290	reste	0
290	/	2	=	145	reste	0
145	/	2	=	72	reste	1
72	/	2	=	36	reste	0
36	/	2	=	18	reste	0
18	/	2	=	9	reste	0
9	/	2	=	4	reste	1
4	/	2	=	2	reste	0
2	/	2	=	1	reste	0
1	/	2	=	0	reste	1 (CPS)

Réponse: 10 010 001 000 110 110
(CPS) (CMS)

Vérification:

10000000000000000	1 * 2^{16}	1 * 65536	65536
0000000000000000	0 * 2^{15}	0 * 32768	0
000000000000000	0 * 2^{14}	0 * 16384	0
10000000000000	1 * 2^{13}	1 * 8192	8192
0000000000000	0 * 2^{12}	0 * 4096	0
000000000000	0 * 2^{11}	0 * 2048	0
00000000000	0 * 2^{10}	0 * 1024	0
1000000000	1 * 2^{9}	1 * 512	512
000000000	0 * 2^{8}	0 * 256	0
00000000	0 * 2^{7}	0 * 128	0
0000000	0 * 2^{6}	0 * 64	0
100000	1 * 2^{5}	1 * 32	32
10000	1 * 2^{4}	1 * 16	16
0000	0 * 2^{3}	0 * 8	0
100	1 * 2^{2}	1 * 4	4
10	1 * 2^{1}	1 * 2	2
0	0 * 2^{0}	0 * 1	+ 0
			74294

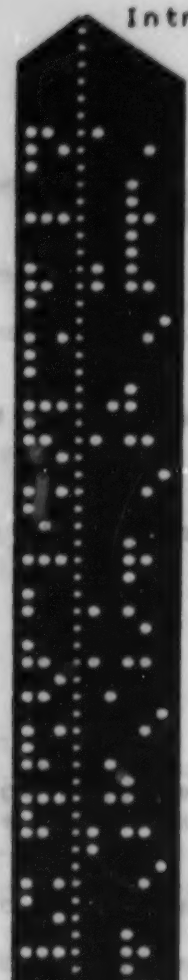
Réponse: 74294

16 - A) 0.1 pouce (Section 4.3.2)
B) une ligne
C) une piste
D) la piste numéro 5
E) 1 pouce
F) 0.072 pouce
G) 0.046 pouce
H) 0.1 pouce
I) le code ISO

17 - (Section 4.5)

-- 1 --	-- 2 --
Code ISO	Code EIA
%	(début de fichier)
N	N
0	0
3	1
0	0
(espace)	(espace)
G	G
4	9
2	2
(espace)	(espace)
Z	X
0	4
.	.
(espace)	(espace)
H	Y
0	.
5	3
(retour de chariot)	5
(fin de bloc)	(fin de bloc)

18 - Il s'agit du code EIA



Programme pièce

(début du fichier)

N100G00Z.1*

N110X1.4*

N120G01Z-1.43*

N130X1.8*

N140G00Z.1*

N150X1.4*

N160G01Z-1.43*

FIGURE 4.C

CHAPITRE 4

L'INTRODUCTION DE PROGRAMMES DANS LA MOCN

TEST

---

1 - Nommez les 2 sortes de programmes qu'une MOCN accepte généralement.

2 - Lequel des nombres suivants n'est pas un nombre binaire?

A) 0
B) 101
C) 1071
D) 11111

3 - Laquelle des façons d'introduire les programmes dans la MOCN est longue et peu productive?

A) L'introduction manuelle.
B) L'introduction par l'intermédiaire d'une bande perforée.
C) L'introduction par l'intermédiaire d'une bande magnétique.
D) L'introduction par l'intermédiaire d'un ordinateur.

4 - La bande perforée comprend combien de pistes, si l'on ne compte pas la piste d'entraînement?

5 - Avec le code EIA, c'est la piste no 5 qui contrôle l'imparité. Avec le code ISO, quelle piste contrôle la parité?

6 - Décomposez le nombre binaire 10101.

7 - Convertissez le nombre binaire 111001 en nombre décimal et faites la preuve.

CHAPITRE 4

L'INTRODUCTION DE PROGRAMMES DANS LA MOCN

TEST (CORRIGÉ)

1 - Les programmes pièces et les programmes interprètes. (Section 4.1)

2 - C) Le nombre 1071 puisque le chiffre 7 n'est pas binaire. (Section 4.2)

3 - A) L'introduction manuelle. (Section 4.3.1)

4 - Elle comprend généralement 8 pistes. (Section 4.3.2)

5 - La piste no 8 contrôle la parité avec le code ISO. (Section 4.5.2).

6 - $1 * 2^4 =$ 10000 (Section 4.2.1)
$0 * 2^3 =$ 0000
$1 * 2^2 =$ 100
$0 * 2^1 =$ 00
$1 * 2^0 =$ 1

7 -

100000	$1 * 2^5$	$1 * 32$	32	(Section 4.2.3)
10000	$1 * 2^4$	$1 * 16$	16	
1000	$1 * 2^3$	$1 * 8$	8	
000	$0 * 2^2$	$0 * 4$	0	
00	$0 * 2^1$	$0 * 2$	0	
1	$1 * 2^0$	$1 * 1$	+ 1	
			57	

Réponse: 57

Vérification:

57 / 2	=	28	reste 1		CMS
28 / 2	=	14	reste 0		
14 / 2	=	7	reste 0		
7 / 2	=	3	reste 1		
3 / 2	=	1	reste 1		
1 / 2	=	0	reste 1		CPS

Réponse: 111001

CHAPITRE 5
LA PROGRAMMATION MANUELLE

TRAVAUX (CORRIGÉ)

---

1 - Le format de bloc variable à tabulation.
(Section 5.1)

2 - Le pouce et le millimètre. (Section 5.2.1)

3 - A) L'origine machine. (Section 5.2.2)
B) Non, elle est fixée une fois pour toute.

4 - A) L'origine programme. (Section 5.2.2)
B) Oui, elle peut être modifiée au gré du programmeur.

5 - Les axes +X, +Y et +Z. (Section 5.2.8)

6 - Les rotations A, B et C. (Section 5.2.8)

7 - L'axe +Z. (Section 5.2.7)

8 - On peut dire qu'elle est orientée vers la gauche.
(Section 5.2.7)

9 - Le tour à commande numérique. (Section 5.2.4)

10 - La translation Q. (Section 5.2.8)

11 - Il s'agit d'un format de bloc fixe.
(Section 5.1)

12 - 100Tab01Tab200Tab0Tab0Eob
120Tab00TabTab100Tab-100Eob
140Tab01Tab100Tab300Eob

13 - A) 3 blocs. (Section 5.1)
B) 11 mots.
C) 54 caractères dont 11 caractères "espace".
D) 11 adresses.
E) 3 caractères de fin de bloc représentés par des |

14 - Point A X = 0 Y = 0 (Section 5.2.2)
Point B X = 0 Y = 3
Point C X = 4 Y = 3
Point D X = 4 Y = 0

15 - Point A X = 5 Y = -1 (Section 5.2.2)
Point B X = 5 Y = 2
Point C X = 9 Y = 2
Point D X = 9 Y = -1

16 - Point Oo X = -2 Y = +5 (Section 5.2.2)

17 - Point A Y = 0 Z = -2 (Section 5.2.2)
Point B Y = 3 Z = -2
Point C Y = 7 Z = -6
Point D Y = 6 Z = -8
Point E Y = 5 Z = -6
Point F Y = 4 Z = -6

18 - Point A Y = 2 Z = 3 (Section 5.2.2)
Point B Y = 5 Z = 3
Point C Y = 9 Z = -1
Point D Y = 8 Z = -3
Point E Y = 7 Z = -1
Point F Y = 6 Z = -1

19 - Point Oo Y = +3 Z = -11 (Section 5.2.2)

20 - A) L'axe no 3 (Section 5.2.4)
B) L'axe no 2

21 - A) L'axe no 1 (Section 5.2.5)
B) L'axe no 4
C) L'axe no 6

22 - A) Les axes +X′, +Y′ et +Z′. (Section 5.2.7)
B) X′ = l′axe no 3
Y′ = l′axe no 2
Z′ = l′axe no 5

23 - A) La rotation C+ (Section 5.2.8)
B) La rotation A-
C) La rotation B+

CHAPITRE 5

LA PROGRAMMATION MANUELLE

TEST

---

1 - Associez les blocs d'informations au nom de format de bloc correspondant.

> 1) N100 G01 X7.0 Z-1.0 *
> 2) 0100 01 7000 -1000
> 3) 100 Tab 01 Tab 7.0 Tab -1000 Eob

A) Format de bloc variable à tabulation.

B) Format de bloc variable à adresse.

C) Format de bloc fixe.

2 - Associez l'origine correspondant à chacun des énoncés:

> 1) L'origine programme.
> 2) L'origine outil.
> 3) L'origine machine.

A) Cette origine est définie par le constructeur de la MOCN.

B) L'outil se trouve souvent à cette origine au début du programme.

C) L'outil se trouve souvent à cette origine à la fin du programme.

D) Cette origine est fixée par le programmeur sans se soucier de la position de la pièce sur la table de la fraiseuse.

E) Cette origine est définie une fois pour toute.

3 - Associez les axes aux noms de ces axes.

1) X, Y et Z.
2) A, B et C.
3) U, V et W.

A) Les 3 axes principaux de translation.

B) Les 3 axes secondaires de translation.

C) Les 3 rotations principales.

4 - Regardez bien la figure 5.F; elle vous sera utile pour répondre aux questions 4, 5 et 6.

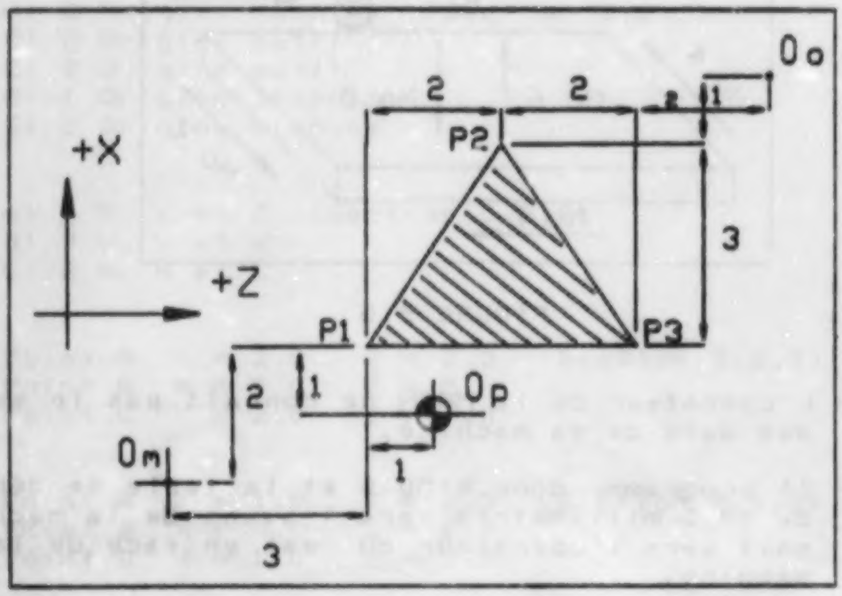


FIGURE 5.F

Écrivez les coordonnées des points P1 à P3 du programme pièce. Le programme est écrit par rapport à l'origine Om.

5 - Écrivez les coordonnées des points P1 à P3 du programme pièce. Le programme est écrit par rapport à l'origine Op.

6 - Si l'outil se situe au point Oo au départ du programme, quelles coordonnées de ce point devront être inscrites dans le programme pièce?

7 - Regardez bien la figure 5.G.

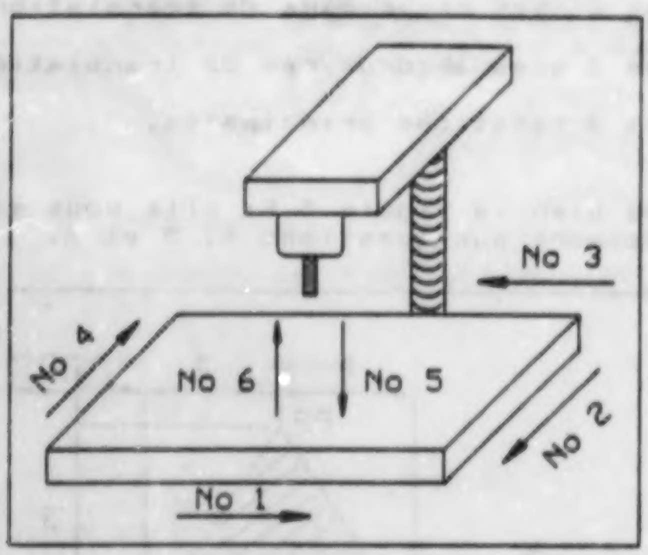


FIGURE 5.G

- L'opérateur de la MOCN ne connaît pas le sens des axes de sa machine.

- Il programme donc X+50.0 et la table se déplace de 50.0 millimètres vers l'avant de la machine, soit vers l'opérateur qui est en face de la machine.

- Il programme Y-50.0 et la table se déplace de 50.0 millimètres vers la gauche de l'opérateur.

- Enfin, il programme Z+50.0 et la broche monte de 50.0 millimètres.

- D'après ces renseignements et la figure 5.G, trouvez quel numéro d'axe représente l'axe +X, +Y, +Z, +X', +Y' et +Z'.

  ATTENTION! les orientations ne sont pas nécessairement standard.

  Lisez bien les données.

CHAPITRE 5

LA PROGRAMMATION MANUELLE

TEST (CORRIGÉ)

1 - A) 3 (Section 5.1)
    B) 1
    C) 2

2 - A) 3 Origine machine (Section 5.2.2)
    B) 2 Origine outil
    C) 2 Origine outil
    D) 1 Origine programme
    E) 3 Origine machine

3 - A) 1 X, Y et Z (Section 5.2.8)
    B) 3 U, V et W
    C) 2 A, B et C

4 - Point A X = 2.0 Z = 3.0 (Section 5.2.2)
    Point B X = 5.0 Z = 5.0
    Point C X = 2.0 Z = 7.0

5 - Point A X = 1.0 Z =-1.0 (Section 5.2.2)
    Point B X = 4.0 Z = 1.0
    Point C X = 1.0 Z = 3.0

6 - Point Oo X = 5.0 Z = 5.0 (Section 5.2.2)

7 - L'axe +X = l'axe no 4 (Section 5.2.5)
    L'axe +Y = l'axe no 3
    L'axe +Z = l'axe no 6

    L'axe +X' = l'axe no 2
    L'axe +Y' = l'axe no 1
    L'axe +Z' = l'axe no 5

CHAPITRE 6

LES CODES DE PROGRAMMATION OPÉRATIONS DE FRAISAGE

TRAVAUX (CORRIGÉ)

---

1 - Le code G70. (Section 6.3.2)

2 - Les déplacements sont en coordonnées absolues. (Section 6.3.1)

3 - A) La broche tourne à 400 RPM. (Section 6.5)
B) La broche tourne dans le sens horaire.

4 - A) Le numéro 2. (Section 6.7.4)
B) Le numéro 1.

5 - Le filet sera "à droite". (Section 6.3.8)

6 - A) Le bloc numéro 3. (Section 6.1)
B) Oui, l'ordre des mots n'influence pas le résultat sur la MOCN.

7 - Non. Une interpolation circulaire dans le plan Z-X (soit le code G18) demande des mots I et K. Le programme est écrit avec des mots I et J. (Section 6.3.4)

8 - A) Jusqu'au niveau Z=1.0 pouce. (Section 6.3.8)
B) Il n'y a pas d'arrêt avant la descente de l'outil.
C) Un temps de 2.0 secondes.
D) À une vitesse de 7.0 pouce/minute.
E) En avance rapide.
F) Jusqu'au niveau Z=2.0 pouces.
G) Les coordonnées du fond du trou sont X=0.0, Y=0.0 et Z=1.0.

9 - A) Oui.
B) Non.
C) Non.
D) Oui.

10 - Le bloc A puisque le déplacement est en avance rapide. (Section 6.3.3)

11 - Coordonnées absolues. (Section 6.3.1)

X = 0	Y = 0
X = 1	Y = 0
X = 1	Y = 2
X = 2	Y = 2
X = 2	Y = 4
X = 3	Y = 4
X = 3	Y = -1
X = -1	Y = -1
X = -1	Y = 1

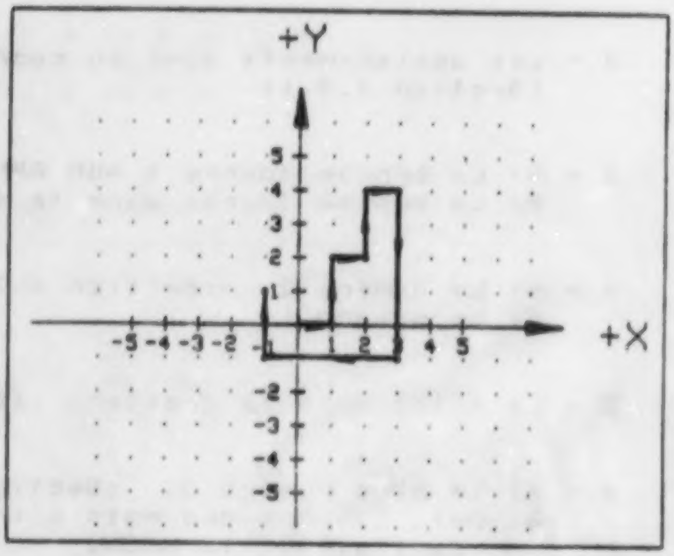


FIGURE 6.H

12 - A) Un code G02. (Section 6.3.3)
B) Un code G02.
C) Un code G03.
D) Un code G03.
E) Un code G01.
F) Un code G03.

13 - G01 X5.0 Y5.0 * (Section 6.3.3)

```
X7.0 *
G03 X9.0 Y3.0 I2.0 *
X12.0 Y6.0 J3.0 *
G01 X15.0 Y3.0 *
G03 X17.0 Y1.0 I2.0 *
X19.0 Y3.0 J2.0 *
```

14 - G92 X-3.0 Y+5.0 *. Le point de départ est situé à X=-3.0 et Y=5.0 de l'origine Op. (Section 6.3.1)

15 - A) Un code G41. (Section 6.3.5)
B) Un code G42.
C) Un code G41.
D) Un code G41.
E) Un code G42.
F) Un code G40.

16 - A) G41 G02 X3.0 Y3.0 I4.0 J1.0 *
B) G42 G03 X5.0 Y5.0 J4.0 *
C) G40 G02 X0.0 Y0.0 J3.0 *
D) G42 G01 X6.0 Y-2.0 *

17 - Voici un exemple de pièce.

FIGURE 6.I LE DESSIN DE LA PIÈCE

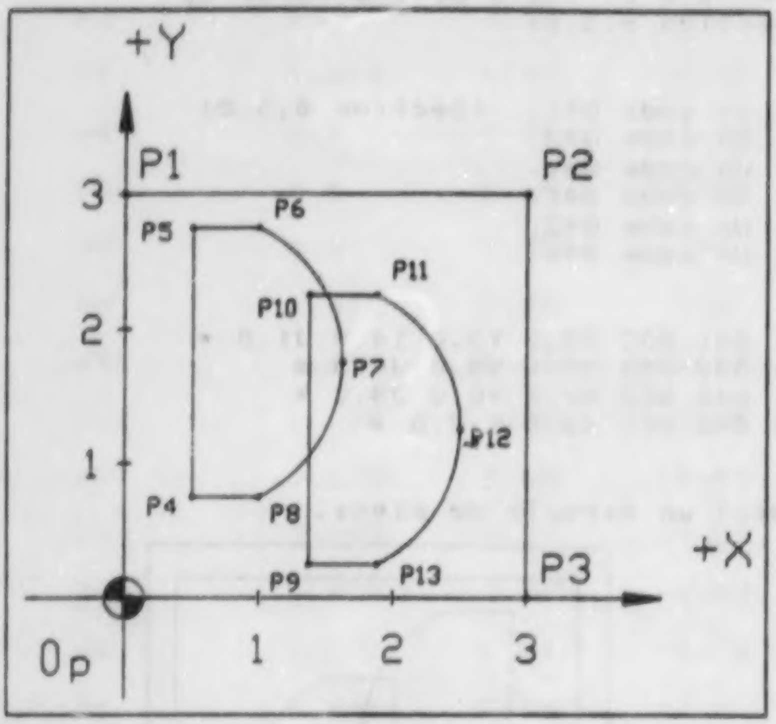


FIGURE 6.J LE DESSIN AVEC LES POINTS

LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

POINT	X(po)	Y(po)	Z(po)
Op	0.0	0.0	1.0
Op	0.0	0.0	-0.05
P1	0.0	3.0	-0.05
P2	3.0	3.0	-0.05
P3	3.0	0.0	-0.05
Op	0.0	0.0	-0.05
Op	0.0	0.0	1.0
P4	0.5	0.75	1.0
P4	0.5	0.75	-0.05

P5	0.5	2.75	-0.05
P6	1.0	2.75	-0.05
P7	1.618	1.75	-0.05
P8	1.0	0.75	-0.05
P4	0.5	0.75	-0.05
P4	0.5	0.75	1.0
P9	1.375	0.25	1.0
P9	1.375	0.25	-0.05
P10	1.375	2.25	-0.05
P11	1.875	2.25	-0.05
P12	2.493	1.25	-0.05
P13	1.875	0.25	-0.05
P9	1.375	0.25	-0.05
P9	1.375	0.25	1.0
Op	0.0	0.0	1.0

La structure et le format du programme pièce dépendront de la fraiseuse utilisée.

CHAPITRE 6

LES CODES DE PROGRAMMATION
OPÉRATIONS DE FRAISAGE

TEST

---

1 - Est-ce que 2 blocs peuvent avoir le même numéro de bloc?

2 - Quel code permet de programmer en coordonnées incrémentales?

3 - Si le programme contient un code G71, est-ce que les déplacements sont calculés en pouces ou en millimètres?

4 - Voici 2 programmes pièces.

Programme A	Programme B
N10 G90 *	N10 G90 *
:	:
N200 M00 *	N200 M30 *
N210 G91 *	N210 G91 *
:	:

A) Quel bloc est exécuté après le bloc N200 M00 * du programme A?

B) Quel bloc est exécuté après le bloc N200 M30 * du programme B?

5 - Dessinez le trajet de l'outil du programme suivant. (Le départ est au point X=0, Y=0.)

```
G90 *
G01 X1.0 Y1.0 F10. *
G91 *
X-2.0 *
Y-2.0 *
X2.0 *
Y2.0 *
G90 *
X2.0 Y2.0 *
G91 *
X3.0 *
Y3.0 *
```

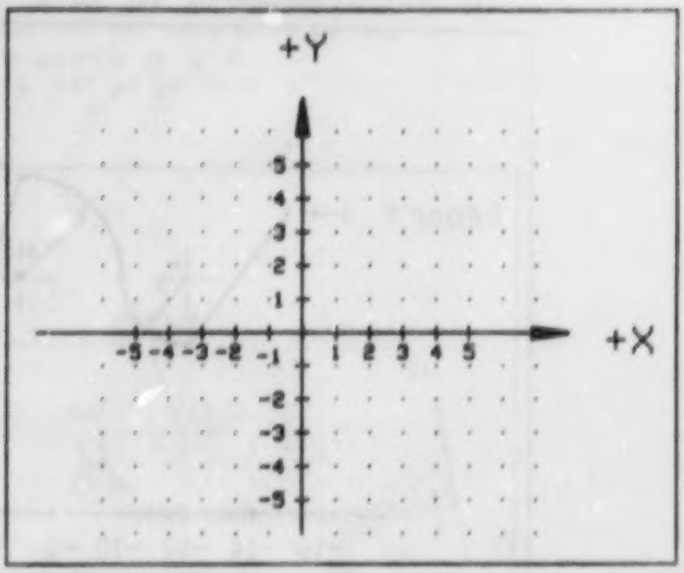


FIGURE 6.K

6 - La ligne pleine représente le trajet programmé.

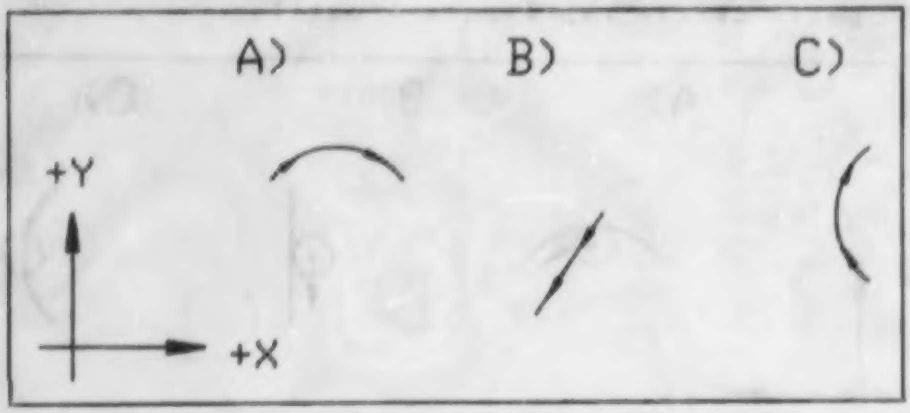


FIGURE 6.L

Dites pour chacun des trajets A à C, s'il est exécuté par un code G01, G02 ou G03.

7 - Écrivez le trajet programmé à l'aide des mots G01, G02, G03, X, Y, I et J seulement. Le programme est en coordonnées absolues.

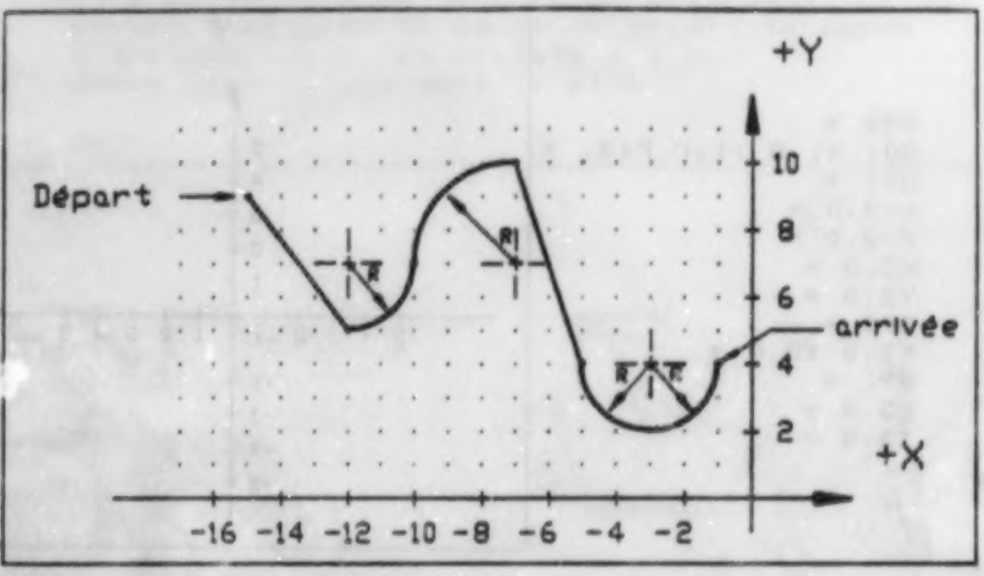


FIGURE 6.M

8 - La ligne représente le trajet programmé. Le petit cercle représente l'outil.

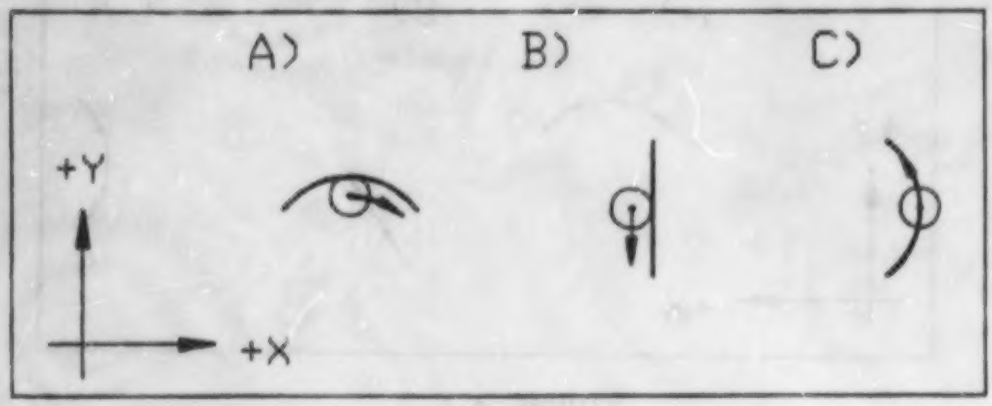


FIGURE 6.N

Dites pour chacun des trajets A à C, s'il est exécuté par un code G40, G41 ou G42?

9 - La ligne pleine représente le trajet programmé. Le petit cercle représente l'outil. À l'aide des codes G01, G02, G03, G40, G41, G42 et des mots X, Y, I et J, écrivez le bloc de programmation qui permet de passer du point de départ au point d'arrivée, pour les trajets A à C. (Nous travaillons dans le plan X-Y.)

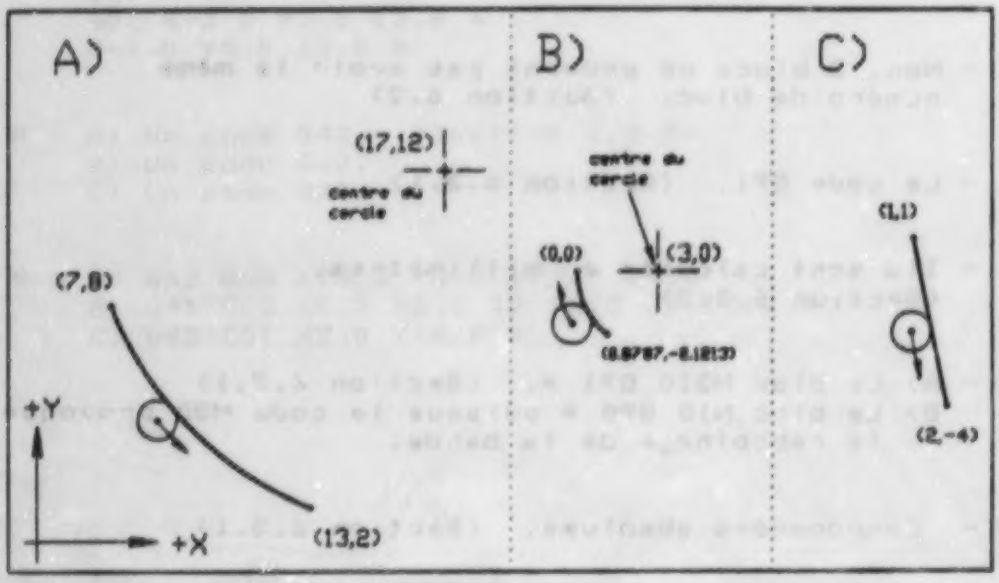


FIGURE 6.0

CHAPITRE 6

LES CODES DE PROGRAMMATION OPÉRATIONS DE FRAISAGE

TEST (CORRIGÉ)

1 - Non, 2 blocs ne peuvent pas avoir le même numéro de bloc. (Section 6.2)

2 - Le code G91. (Section 6.3.1)

3 - Ils sont calculés en millimètres. (Section 6.3.2)

4 - A) Le bloc N210 G91 *. (Section 6.7.1)
B) Le bloc N10 G90 * puisque le code M30 provoque le rebobinage de la bande.

5 - Coordonnées absolues. (Section 6.3.1)

X =	1	Y =	1
X =	-1	Y =	1
X =	-1	Y =	-1
X =	1	Y =	-1
X =	1	Y =	1
X =	2	Y =	2
X =	5	Y =	2
X =	5	Y =	5

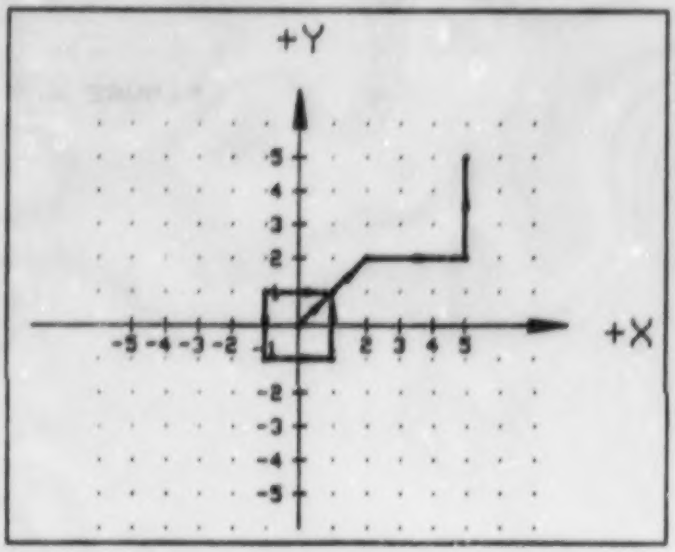


FIGURE 6.P

6 - A) Un code G02. (Section 6.3.3)
B) Un code G01.
C) Un code G02.

7 - G01 X-12.0 Y5.0 * (Section 6.3.3)
G03 X-10.0 Y7.0 J2.0 *
G02 X-7.0 Y10.0 I3.0 *
G01 X-5.0 Y4.0 *
G02 X-3.0 Y2.0 I2.0 *
X-1.0 Y4.0 J2.0 *

8 - A) Un code G42. (Section 6.3.5)
B) Un code G42.
C) Un code G40.

9 - A) G42 G03 X13.0 Y2.0 I10.0 J4.0 *
B) G41 G02 X0.0 Y0.0 I2.1213 J2.1213 *
C) G42 G01 X2.0 Y-4.0 *

CHAPITRE 7

LES CODES DE PROGRAMMATION OPÉRATIONS DE TOURNAGE

TRAVAUX (CORRIGÉ)

1 - Coordonnées absolues (Section 7.4)

X = 0.0 Z = 0.0
X = 2.0 Z = 2.0
X = 4.0 Z = 0.0
X = 4.0 Z = 4.0
X = 2.0 Z = 6.0
X = 0.0 Z = 4.0
X =-2.0 Z = 6.0
X =-2.0 Z = 2.0
X =-4.0 Z = 0.0

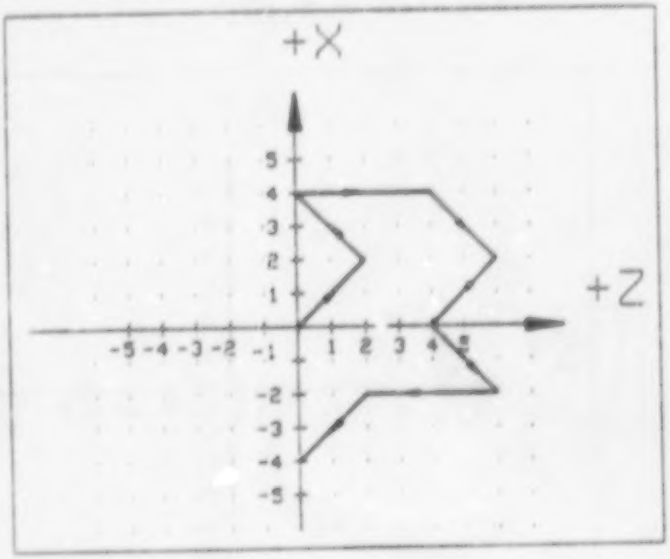


FIGURE 7.8

2 - A) 10.0 pouce / minute (Section 7.5.4)
B) 0.01 pouce / révolution
C) 150. millimètre / minute
D) 0.5 millimètre / révolution

3 - A) 200 pied / minute (Section 7.5.3)
B) 1000 RPM
C) 100 mètre / minute
D) 2000 RPM

4 - A) Il permet 5 passes. (Section 7.5.10)
B) Une surépaisseur de 0.02 millimètre.
C) L'outil utilisé est le numéro 1.
D) Le numéro de bloc 200 (N200).

5 - A) Oui. (Section 7.4)
 B) Non.
 C) Oui.
 D) Oui.
 E) Non.

6 - Le code G28 provoque un retour à l'origine machine Om. (Section 7.5.12)

7 - L'outil utilisé est l'outil no 2 et la vitesse de rotation de la pièce est de 400 RPM. (Section 7.5.10)

CHAPITRE 7

LES CODES DE PROGRAMMATION OPÉRATIONS DE TOURNAGE

TEST

1 - Dessinez le trajet de l'outil de la section de programme suivante. L'outil se situe au départ en X=0.0 et Z=0.0.

```
X2.0 Z2.0 ;
U-2.0 W2.0 ;
X-4.0 Z0.0 ;
U4.0 W-4.0 ;
U2.0 W2.0 ;
X0.0 Z0.0 ;
```

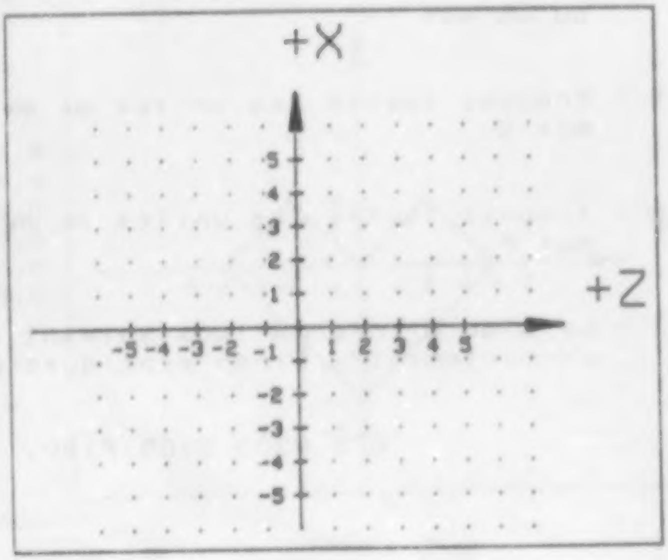


FIGURE 7.C

2 - Voici une section de programme pièce.

```
G97 ;
G50 S2000 ;
S4000 ;
  :
```

Quelle est la vitesse de rotation de la broche après lecture du bloc S4000?

3 - Nous voulons usiner une pièce par passes de 0.1 millimètre. L'épaisseur totale de métal à enlever est de 1 millimètre.

A) Combien de blocs d'informations sont nécessaires pour usiner la pièce si le 1er bloc contient un code G90.

B) Combien de blocs d'informations sont nécessaires pour usiner la pièce si le 1er bloc contient un code G71.

4 - Pour usiner un filet avec une très grance précision, est-il conseillé d'employer un mot E ou un mot F?

5 - Trouvez toutes les unités de mesure possibles du mot S.

6 - Trouvez toutes les unités de mesure possibles du mot F.

7 - Le bloc d'informations suivant est-il écrit correctement? Sinon expliquez pourquoi.

G70 P200 Q100 F180. ;

CHAPITRE 7

LES CODES DE PROGRAMMATION
OPÉRATIONS DE TOURNAGE

TEST (CORRIGÉ)

1 - Coordonnées absolues (Section 7.4)

X = 2.0 Z = 2.0
X = 0.0 Z = 4.0
X =-4.0 Z = 0.0
X = 0.0 Z =-4.0
X = 2.0 Z =-2.0
X = 0.0 Z = 0.0

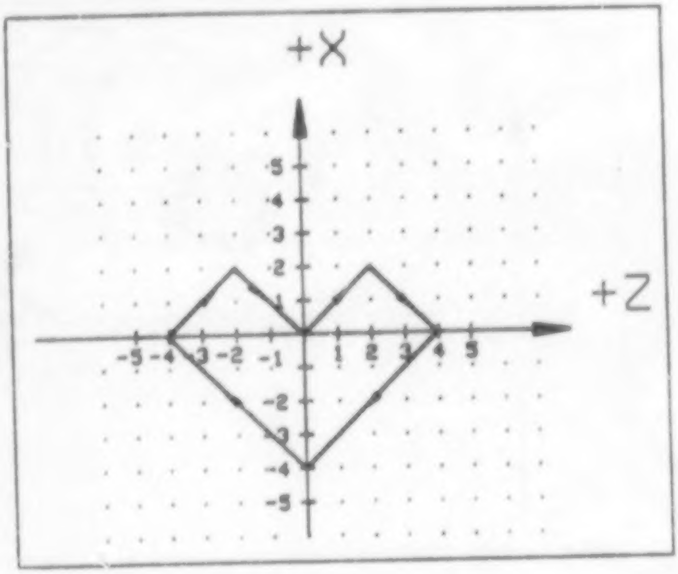


FIGURE 7.D

2 - La vitesse de rotation est de 2000 RPM puisque le bloc G50 S2000 ; limite la rotation maximale à 2000 RPM. (Section 7.5.1)

3 - A) 10 blocs d'informations, soit 1 bloc par passe. (Section 7.5.7)
B) 1 bloc d'informations. (Section 7.5.10)

4 - Il est conseillé d'utiliser un mot E. (Section 7.6)

5 - A) pied / minute (Section 7.5.3)
B) mètre / minute
C) révolution / minute (RPM)

6 - A) pouce / minute (Section 7.5.4)
B) pouce / révolution
C) millimètre / minute
D) millimètre / révolution

7 - Ce n'est pas une erreur si la valeur du mot Q est plus petite que celle du mot P. C'est tout au plus une programmation boiteuse. (Section 7.5.10)

CHAPITRE 8

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UNE FRAISEUSE À CN

TRAVAUX (CORRIGÉ)

1 - (Section 8.1.1)

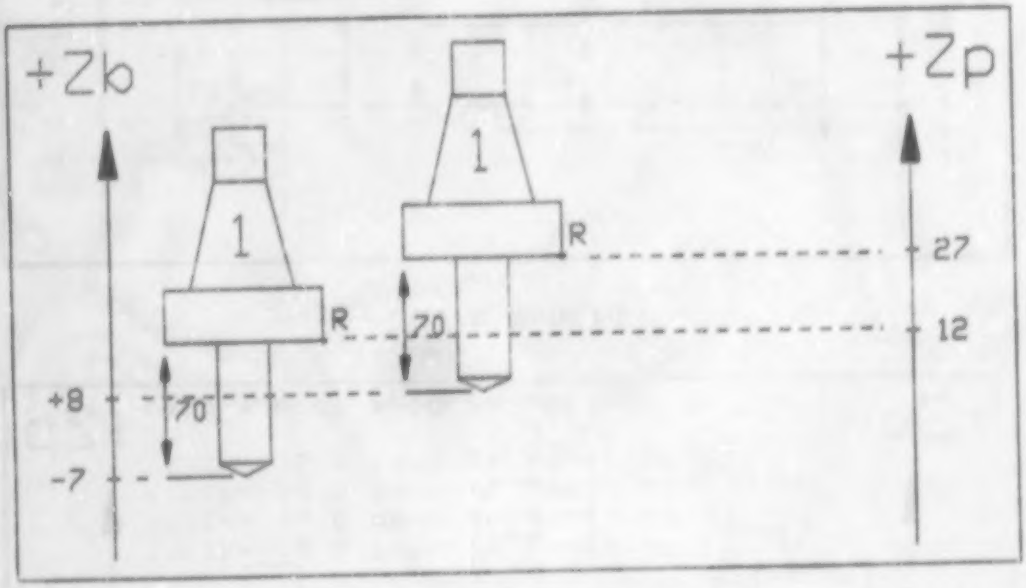


FIGURE 8.H

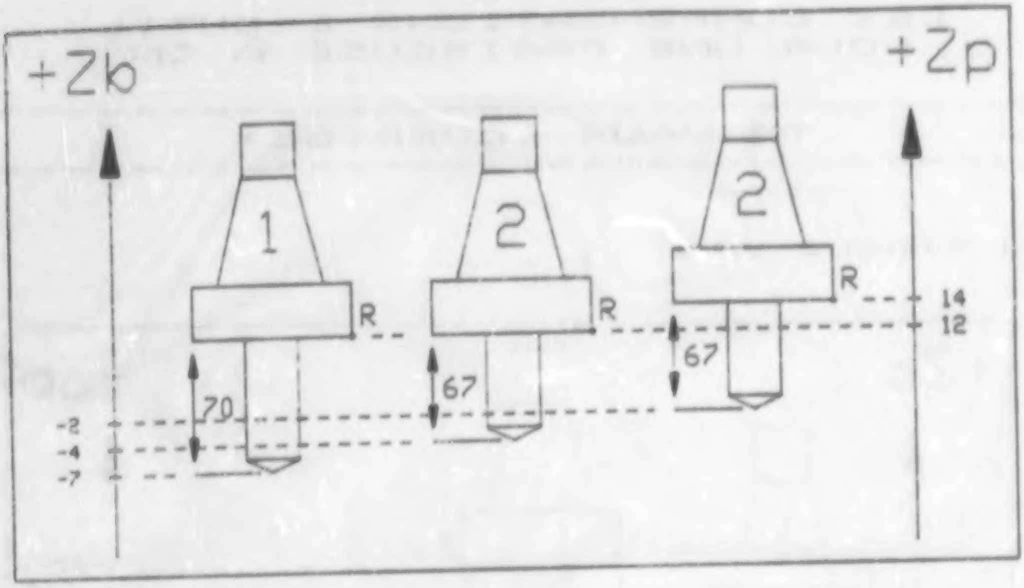


FIGURE 8.I

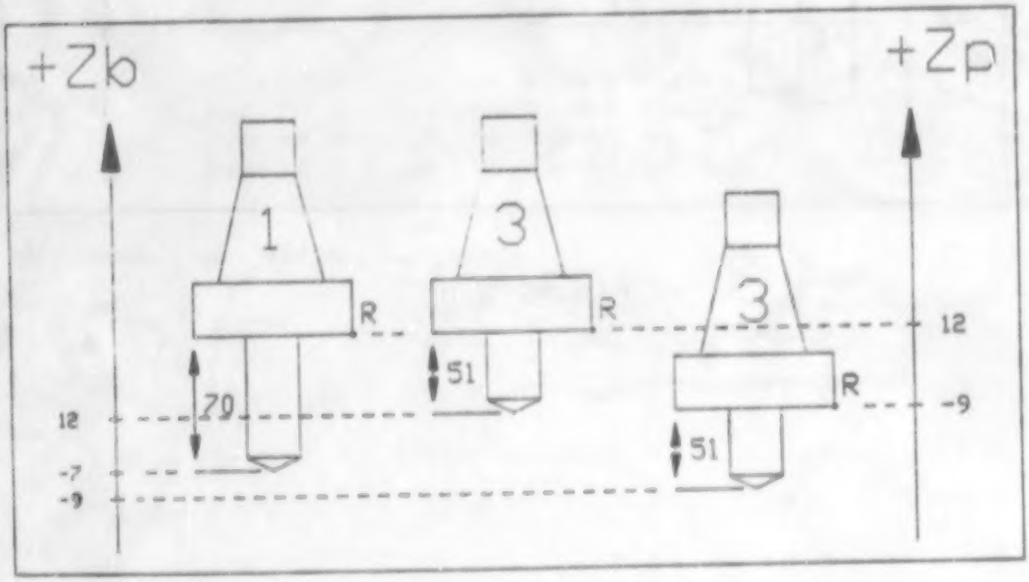


FIGURE 8.J

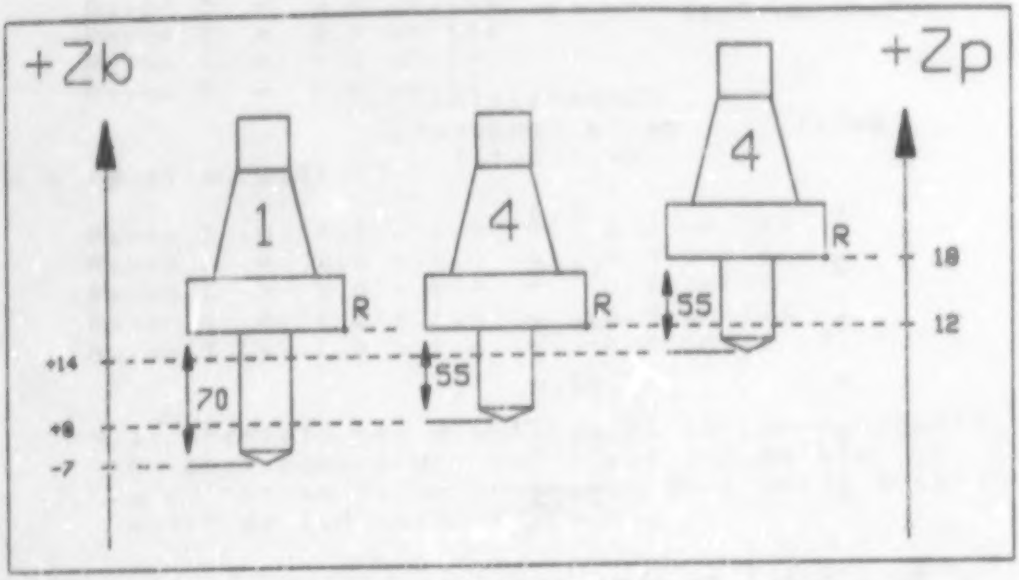


FIGURE 8.K

Il faudra donc programmer...

...Zp=+27.0 pour le foret no 1.
...Zp=+14.0 pour le foret no 2.
...Zp= -9.0 pour le foret no 3.
...Zp=+18.0 pour le foret no 4.

2 - (Section 8.1.2)

	FORET NO 1	FORET NO 2	FORET NO 3	FORET NO 4
Long. analysée	70.0	67.0	51.0	55.0
- Long. de réf.	-70.0	-70.0	-70.0	-70.0
- Zb de réf.	7.0	7.0	7.0	7.0
+ Zp de réf.	12.0	12.0	12.0	12.0
+ Zb analysé	8.0	-2.0	-9.0	14.0
Zp à programmer	27.0	14.0	-9.0	18.0

3 - Si l'outil de référence est l'outil no 1:
(Section 8.2)

Outil	Compensation de la longueur de l'outil
1	0.0
2	11.0
3	-40.0
4	42.0
5	-25.0
6	27.0

Si l'outil de référence est l'outil no 4, soit l'outil le plus long:

Outil	Compensation de la longueur de l'outil
1	-42.0
2	-31.0
3	-82.0
4	0.0
5	-67.0
6	-15.0

4 - P1 X+26.0 Y+21.0 (Section 8.3)
P2 X+26.0 Y-16.0
P3 X-31.0 Y-16.0
P4 X-31.0 Y+15.0 *

* La coordonnée Y du point P4 pourrait être plus grande que +15.0 et le programme ne serait pas erroné pour autant.

5 - Rayon 1 = 4.0 unités (Section 8.3)
Rayon 2 = 3.0 unités
Rayon 3 = 2.0 unités
Rayon 4 = 1.0 unité
Rayon 5 = 1.0 unité

6 - (Section 8.4)

Rayon 1 = 4.0 - 1.4 = 2.6 unités
Rayon 2 = 3.0 + 1.4 = 4.4 unités
Rayon 3 = 2.0 - 1.4 = 0.6 unité
Rayon 4 = 1.0 + 1.4 = 2.4 unités
Rayon 5 = 1.0 - 1.4 = -0.6 unité *

* Il n'existe pas d'outil avec un rayon négatif. On peut comprendre qu'il est impossible d'usiner un rayon intérieur de 1 unité avec un outil de 1.4 unité de rayon.

7 - (Section 8.3.1)

Point P1 Figure 8.43 (Géométrie 1)

Point P2 Figure 8.45 (Géométrie 2)

Point P3 Figure 8.52 (Géométrie 5)

L'axe +Y devient l'axe +X.
L'axe -X devient l'axe +Y.

Point P4 Figure 8.51 (Géométrie 5)

L'axe +Y devient l'axe +X.
L'axe -X devient l'axe +Y.

Point P5 Figure 8.45 (Géométrie 2)

L'axe +Y devient l'axe +X.
L'axe -X devient l'axe +Y.

Point P6 Figure 8.43 (Géométrie 1)

L'axe -X devient l'axe +X.
L'axe -Y devient l'axe +Y.

Point P7 Figure 8.47 (Géométrie 3)

L'axe -X devient l'axe +X.
L'axe -Y devient l'axe +Y.

Point P8 Figure 8.45 (Géométrie 2)

L'axe -X devient l'axe +X.
L'axe -Y devient l'axe +Y.

Point P9 Figure 8.53 (Géométrie 6)

L'axe +Y devient l'axe +X.
L'axe -X devient l'axe +Y.

Point P10 Figure 8.55 (Géométrie 7)

L'axe -Y devient l'axe +X.
L'axe +X devient l'axe +Y.

8 - D'après la figure 8.43 (Section 8.3.1)

$\Delta x = r * TAN (\alpha / 2)$

$\Delta y = r$

$r = 1.714 / 2 = .857$

$\alpha = ARC TAN (4 / 2) = 63.43°$

$\Delta x = .857 * TAN (63.43° / 2) = 0.5296$

$\Delta y = .8570$

d'où P1x = 4.0 + 0.5296 = 4.5296

P1y = 3.0 + 0.857 = 3.857

P1 (4.5296 , 3.857)

9 - Point P1 (8.0 , 5.0) (Section 8.4)

Point P2 Équation du cercle

$$(X - 9.5)^2 + (Y + 0.5)^2 = 9.0$$

P2x = 8.0 d'où P2y = 2.0981

Point P2 (8.0 , 2.0981)

Point P3 Équation du cercle

$$(X - 9.5)^2 + (Y + 0.5)^2 = 9.0$$

P2y = 1.0 d'où P2x = 6.9019

Point P3 (6.9019 , 1.0)

Point P4 (4.0 , 1.0)

Point P5 (2.0 , 2.0)

Point P6 (1.0 , 4.0)

Point P7 (1.0 , 5.0)

Point P8 (2.0 , 6.0)

Point P9 (3.0 , 6.0)

Point P10 (5.0 , 4.0)

Point P11 (6.0 , 4.0)

Point P12 (7.0 , 5.0)

10 - (Section 8.4)

Point P2 Figure 8.53 R = 3.0 r = 0.7

Ia = 2.5981 Ja = 1.5

Après le changement d'axe...

Ia = 1.5

Ja = 2.5981

```
G41 *
G01 X8.0 Y5.0 *
Y2.0981 *
G03 X6.9019 Y1.0 I1.5 J2.5981 *
G01 X4.0 *
X2.0 Y2.0 *
X1.0 Y4.0 *
Y5.0 *
X2.0 Y6.0 *
X3.0 *
X5.0 Y4.0 *
X6.0 *
X7.0 Y5.0 *
X8.0 *
```

N.B. Si la MOCN accepte les mots I et J négatifs, le bloc contenant l'interpolation circulaire serait plutôt...

```
G03 X6.9019 Y1.0 I1.5 J-2.5981 *
```

11 - Point P1 (8.7 , 5.7) (Section 8.3.1)

Point P2 Figure 8.53 R = 3.0 r = 0.7

Ia = 2.5981 Ja = 1.5

$$\Delta x = 2.5981 - \sqrt{(3.0 - .7)^2 - (1.5 - .7)^2}$$

$$\Delta x = 0.4417$$

$$\Delta y = 0.7$$

Il faut ici effectuer le changement d'axe.

L'axe +Y devient l'axe +X.
L'axe -X devient l'axe +Y.

D'où $\Delta y = 0.7$ devient $\Delta x = 0.7$

et $\Delta x = 0.4417$ devient $\Delta y = -0.4417$

Point P2 (8.0 + 0.7 , 2.0981 + (-0.4417))

Point P2 (8.7 , 1.6564)

Point P3 Figure 8.55 R = 3.0 r = 0.7

Ia = 1.5 Ja = 2.5981

$\Delta x = 0.7$

$\Delta y = 2.5981 - \sqrt{(3.0 - .7)^2 - (1.5 - .7)^2}$

$\Delta y = 0.4417$

Point P3 (7.3436 , 0.3)

Point P4 Figure 8.43 r = 0.7 α = 26.565°

$\Delta x = 0.7 * TAN (26.565 / 2) = 0.1652$

$\Delta y = 0.7$

Point P4 (3.8348 , 0.3)

Point P5 Figure 8.47 r = 0.7 α 1 = 26.565°

α 2 = 63.435°

$$\Delta x = 0.7 * \frac{SIN \left(\frac{26.565 + 63.435}{2} \right)}{COS \left(\frac{26.565 - 63.435}{2} \right)}$$

$\Delta x = 0.5217$

$$\Delta y = 0.7 * \frac{COS \left(\frac{26.565 + 63.435}{2} \right)}{COS \left(\frac{26.565 - 63.435}{2} \right)}$$

$\Delta y = 0.5217$

Point P5 (1.4783 , 1.4783)

Point P6 Figure 8.45 r = 0.7 α = 63.435°

$\Delta x = 0.7$

$\Delta y = 0.7 * TAN (45 - 63.435 / 2)$

$\Delta y = 0.1652$

Point P6 (0.3 , 3.8348)

Point P7 Figure 8.43 r = 0.7 α = 45°

Δx = 0.7 * TAN (45 /2) = 0.2899

Δy = 0.7

Point P7 (0.3 , 5.2899)

Point P8 Figure 8.45 r = 0.7 α = 45°

Δx = 0.7

Δx = 0.7 * TAN (45 - 45 / 2) = 0.2899

Point P8 (1.7101 , 6.7)

Point P9 Figure 8.43 r = 0.7 α = 45°

Δx = 0.7 * TAN (45 /2) = 0.2899

Δy = 0.7

Point P9 (3.2899 , 6.7)

Point P10 Figure 8.44 r = 0.7 α = 45°

Δx = 0.7 * TAN (45 /2) = 0.2899

Δy = 0.7

Point P10 (5.2899 , 4.7)

Point P11 Figure 8.46 r = 0.7 α = 45°

Δx = 0.7

Δy = 0.7 * TAN (45 - 45 / 2) = 0.2899

Point P11 (5.7101 , 4.7)

Point P12 Figure 8.45 r = 0.7 α = 45°

Δx = 0.7

Δy = 0.7 * TAN (45 - 45 / 2) = 0.2899

Point P12 (6.7101 , 5.7)

12 - (Section 8.3.1)

Point P2 Figure 8.53 R = 3.0 r = 0.7

Ia = 2.5981 Ja = 1.5

Δx = 0.4417 Δy = 0.7 (voir P2, Question 11)

Is = 2.5981 - 0.4417 = 2.1564

Js = 1.5 - 0.7 = 0.8

Après le changement d'axe...

Is = 0.8

Js = 2.1564

```
G40 *
G01 X8.7 Y5.7 *
Y1.6564 *
G03 X7.3436 Y0.3 I0.8 J2.1564 *
G01 X3.8348 *
X1.4783 Y1.4783 *
X0.3 Y3.8348 *
Y5.2899 *
X1.7101 Y6.7 *
X3.2899 *
X5.2899 Y4.7 *
X5.7101 *
X6.7101 Y5.7 *
X8.0 *
```

N.B. Si la MOCN accepte les mots I et J négatifs, le bloc contenant l'interpolation circulaire serait plutôt...

```
G03 X7.3436 Y0.3 I0.8 J-2.1564 *
```

13 - Les coordonnées des points P1 à P12 sont les mêmes qu'à la 9e question. La différence est la valeur du diamètre à entrer dans le tableau des compensations d'outil. (Section 8.4)

Compensation du diamètre de l'outil = 1.4 + 2 * 0.02 = 1.44 pouce

14 - (Section 8.3.1)

Figure 8.45 avec α = -26.565°

Δx = 0.857 * TAN (45 + 26.565 / 2) = 1.3867

Δy = 0.857

Point P2 (6.3867 , 0.143)

CHAPITRE 8

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UNE FRAISEUSE À CN

TEST

1 - Les 2 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

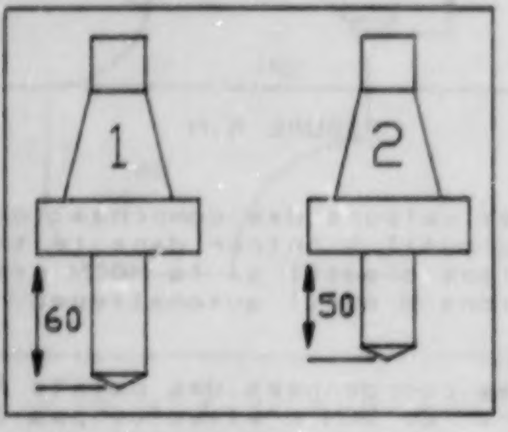


FIGURE 8.L

En programmant Zp=10.0, avec le foret numéro 1 dans le porte-outil, la pointe du foret est au niveau Zb=-3.0.

On veut positionner la pointe...

...du foret no 1 au niveau Zb = -9.0.
...du foret no 2 au niveau Zb = +17.0.

Quelle doit être alors la cote Zp programmée pour chaque foret?

Utilisez la méthode de votre choix pour résoudre ce problème.

2 - Les 4 forets suivants sont utilisés pour percer des trous dans une plaque de métal.

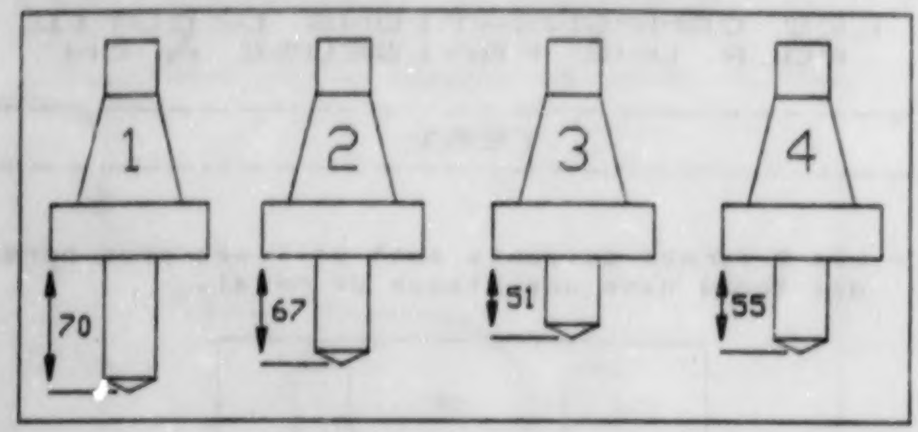


FIGURE 8.M

Trouvez les valeurs des comprnsations de longueur d'outil à entrer dans le tableau des compensations d'outil si la MOCN effectue des compensations d'outil automatiques.

3 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P4 à programmer. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 7 millimètres.

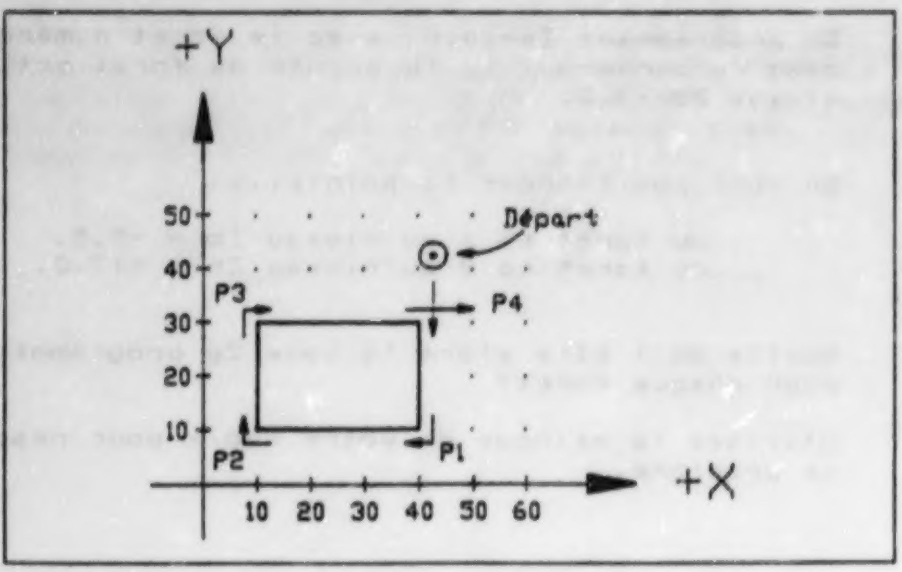


FIGURE 8.N

4 - Trouvez, pour les 4 arcs de cercle, le rayon à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.2 unité.

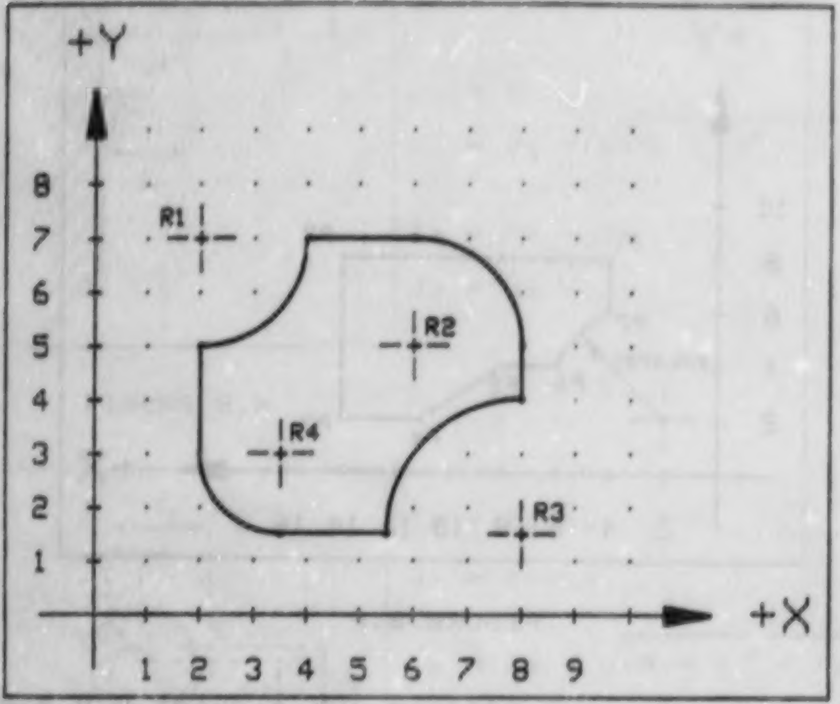


FIGURE 8.0

5 - Trouvez, pour les 4 arcs de cercle, le rayon à programmer (voir Figure 8.0). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.2 unité.

6 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P7 à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques.

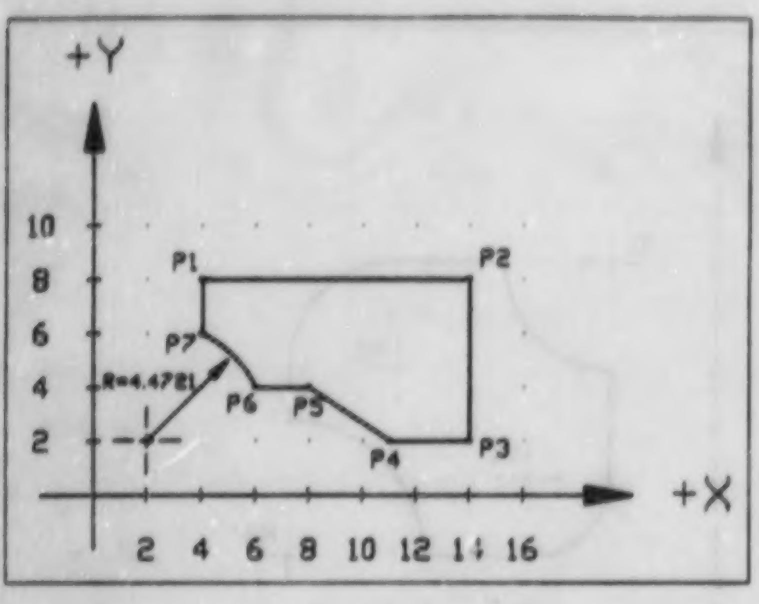
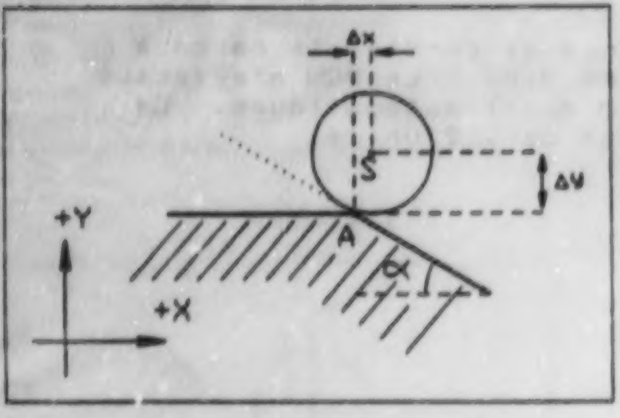


FIGURE 8.P

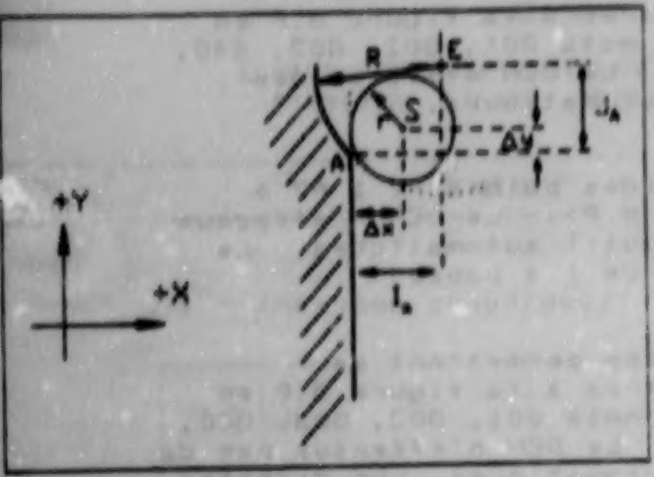
Vous pouvez vous référer aux figures 8.Q à 8.T et aux formules correspondantes.



$$\Delta x = r * TAN \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\Delta y = r$$

FIGURE 8.Q



$Ia = \text{connu}$

$Ja = \text{connu}$

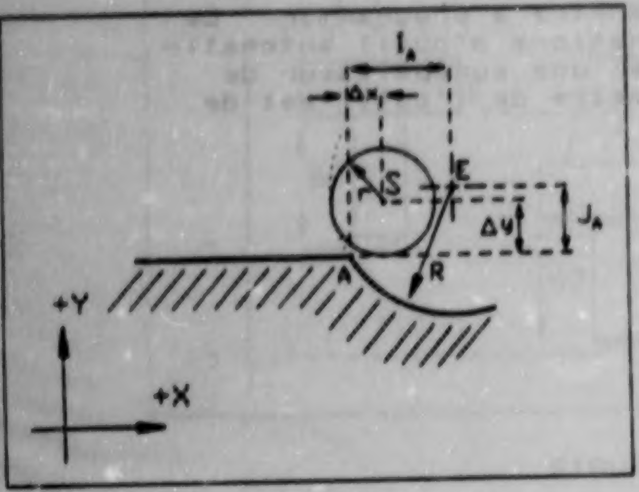
$\Delta x = r$

$\Delta y = Ja - \sqrt{(R - r)^2 - (Ia - r)^2}$

$Is = Ia - \Delta x$

$Js = Ja - \Delta y$

FIGURE 8.R



$Ia = \text{connu}$

$Ja = \text{connu}$

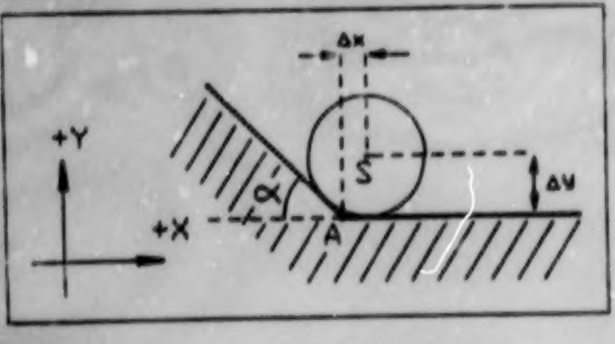
$\Delta x = Ia - \sqrt{(R - r)^2 \quad (Ja - r)^2}$

$\Delta y = r$

$Is = Ia - \Delta x$

$Js = Ja - \Delta y$

FIGURE 8.S



$\Delta x = r * TAN\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

$\Delta y = r$

FIGURE 8.T

7 - Écrivez le programme pièce permettant de contourner la pièce montrée à la figure 8.P en ne vous servant que des mots G01, G02, G03, G40, G41, G42, X, Y, I et J. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques.

8 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P7 à programmer (voir Figure 8.P). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.6 pouce.

9 - Écrivez le programme pièce permettant de contourner la pièce montrée à la figure 8.P en ne vous servant que des mots G01, G02, G03, G40, G41, G42, X, Y, I et J. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le diamètre de l'outil est de 1.6 pouce.

10 - Trouvez la valeur du diamètre à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques et l'on veut laisser une surépaisseur de 1.0 millimètre. Le diamètre de l'outil est de 20.0 millimètres.

CHAPITRE 8

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UNE FRAISEUSE À CN

TEST (CORRIGÉ)

---

1 - (Méthode graphique) (Section 8.1)

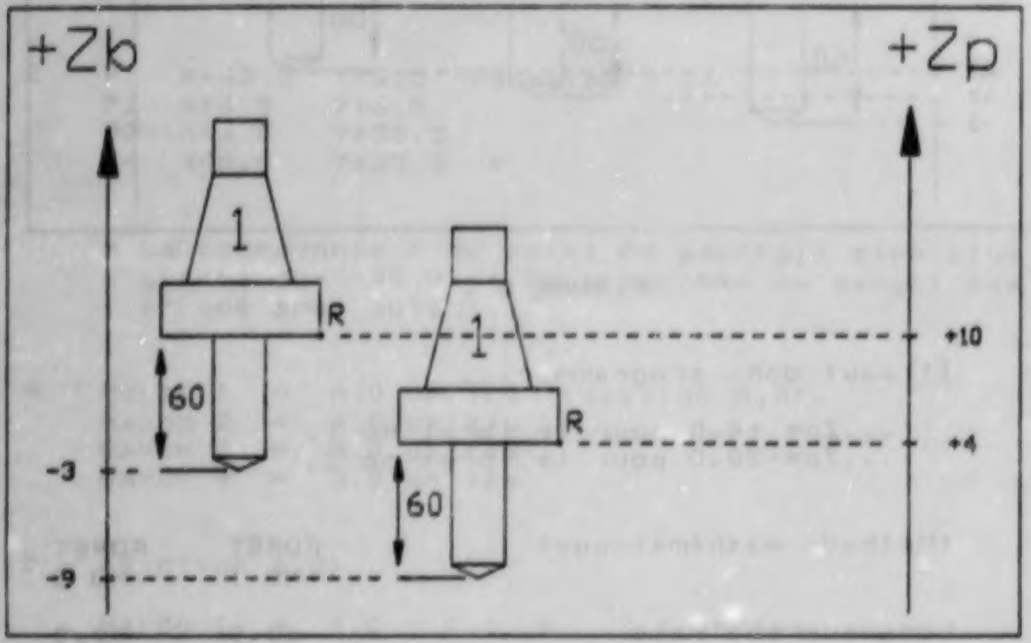


FIGURE 8.U

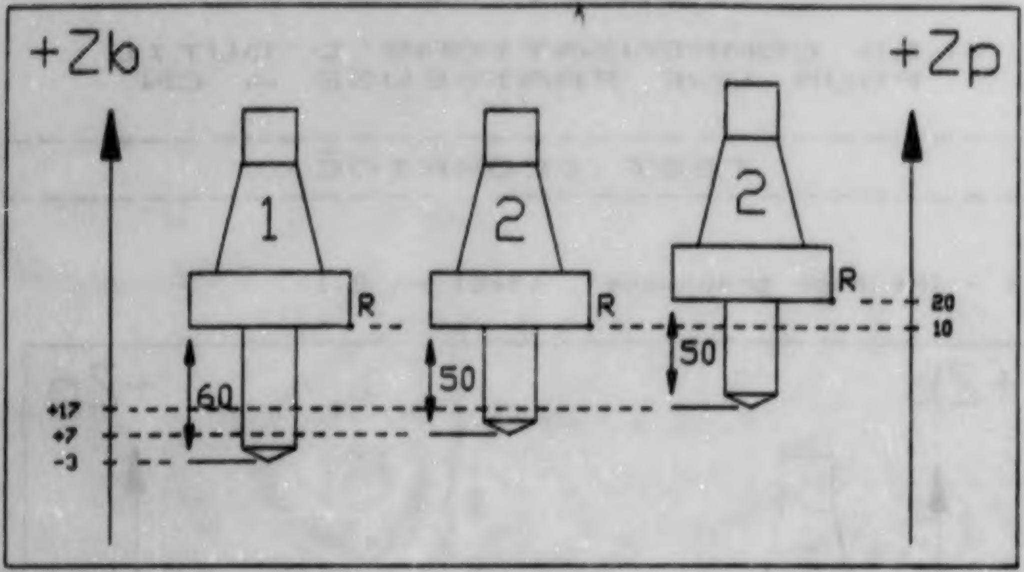


FIGURE 8.V

Il faut donc programmer...

...Zp= +4.0 pour le foret no 1.
...Zp=+20.0 pour le foret no 2.

(Méthode mathématique)	FORET NO 1	FORET NO 2
Longueur analysée	60.0	50.0
- Longueur de référence	-60.0	-60.0
- Zb atteint par l'outil de réf.	3.0	3.0
+ Zp de référence	10.0	10.0
+ Zb de l'outil analysé	-9.0	17.0
Zp à programmer	4.0	20.0

2 - L'outil de référence est l'outil no 1.
(Section 8.2)

Outil	Compensation de la longueur de l'outil
1	0.0
2	-3.0
3	-19.0
4	-15.0

3 - P1 X+43.5 Y+6.5 (Section 8.3)
P2 X+6.5 Y+6.5
P3 X+6.5 Y+33.5
P4 X10.0 Y+33.5 *

* La coordonnée X du point P4 pourrait être plus grande que +40.0 et le programme ne serait pas erroné pour autant.

4 - Rayon 1 = 4.0 unités (Section 8.4)
Rayon 2 = 4.0 unités
Rayon 3 = 5.0 unités
Rayon 4 = 3.0 unités

5 - (Section 8.3)

Rayon 1 = 4.0 - 0.6 = 3.4 unités
Rayon 2 = 4.0 + 0.6 = 4.6 unités
Rayon 3 = 5.0 - 0.6 = 4.4 unités
Rayon 4 = 3.0 + 0.6 = 3.6 unités

6 - Point P1 (4.0 , 8.0) (Section 8.4)

Point P2 (14.0 , 8.0)

Point P3 (14.0 , 2.0)

Point P4 (11.0 , 2.0)

Point P5 (8.0 , 4.0)

Point P6 (6.0 , 4.0)

Point P7 (4.0 , 6.0)

7 - (Section 8.4)

Point P6 Figure 8.S R = 4.4721 r = 0.8

Ia = 4.0 Ja = 2.0

```
G41 *
G01 X4.0 Y8.0 *
X14.0 *
Y2.0 *
X11.0 *
X9.0 Y4.0 *
X6.0 *
G03 X4.0 Y6.0 I4.0 J2.0 *
G01 Y8.0 *
```

N.B. Si la MOCN accepte les mots I et J négatifs, le bloc contenant l'interpolation circulaire serait plutôt...

```
G03 X4.0 Y6.0 I-4.0 J-2.0 *
```

8 - Point P1 (3.2 , 8.8) (Section 8.3.1)

Point P2 (14.8 , 8.8)

Point P3 (14.8 , 1.2)

Point P4 Figure 8.Q r = 0.8 α = 33.690°

Δx = 0.8 * TAN (33.690 / 2) = 2.422

Δy = 0.8

Point P4 (10.7578 , 1.2)

Point P5 Figure 8.T r = 0.8 α = 33.690°

Δx = 0.8 * TAN (33.690 / 2) = 2.422

Δy = 0.8

Point P5 (7.7578 , 3.2)

Point P6 Figure 8.S $R = 4.4721$ $r = 0.8$

$Ia = 4.0$ $Ja = 2.0$

$$\Delta x = 4.0 - \sqrt{(4.4721 - .8)^2 - (2.0 - .8)^2}$$

$\Delta x = 0.5295$

$\Delta y = 0.8$

Point P6 (5.4705 , 3.2)

Point P7 Figure 8.R $R = 4.4721$ $r = 0.8$

$Ia = 2.0$ $Ja = 4.0$

$\Delta x = 0.8$

$$\Delta y = 4.0 - \sqrt{(4.4721 - .8)^2 - (2.0 - .8)^2}$$

$\Delta y = 0.5295$

Point P7 (3.2 , 5.4705)

9 - (Section 8.3.1)

Point P6 Figure 8.S $R = 4.4721$ $r = 0.8$

$Ia = 4.0$ $Ja = 2.0$

$\Delta x = 0.5295$ $\Delta y = 0.8$ (voir P6, Question 8)

$Is = 4.0 - 0.5295 = 3.4705$

$Js = 2.0 - 0.8 = 1.2$

```
G40 *
G01 X3.2 Y8.8 *
X14.8 *
Y1.2 *
X10.7578 *
X7.7578 Y3.2 *
X5.4705 *
G03 X3.2 Y5.4705 I3.4705 J1.2 *
G01 Y8.0 *
```

N.B. Si la MOCN accepte les mots I et J négatifs, le bloc contenant l'interpolation circulaire serait plutôt...

G03 X3.2 Y5.4705 I-3.4705 J-1.2 *

10 - (Section 8.4)

Compensation du diamètre de l'outil = 20.0 + 2 * 1.0 = 22.0 millimètres

CHAPITRE 9

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UN TOUR À CN

TRAVAUX (CORRIGÉ)

---

1 - Point P1 (0.0 , 6.0) (Section 9.4)

Point P2 (2.0 , 6.0)

Point P3 (2.0 , 5.0)

Point P4 (3.0 , 5.0)

Point P5 (3.0 , 3.0)

Point P6 (4.0 , 3.0)

2 - Point P1 (0.0 , 6.1) (Section 9.3)

Point P2 (2.1 , 6.1)

Point P3 (2.1 , 5.1)

Point P4 (3.1 , 5.1)

Point P5 (3.1 , 3.1)

Point P6 (4.1 , 3.1)

3 - Identique au problème no 1.

Point P1 (0.0 , 6.0) (Section 9.4)

Point P2 (2.0 , 6.0)

Point P3 (2.0 , 5.0)

Point P4 (3.0 , 5.0)

Point P5 (3.0 , 3.0)

Point P6 (4.0 , 3.0)

4 - Identique au problème no 1.

Point P1 (-0.1 , 6.0) (Section 9.2)

Point P2 (2.0 , 6.0)

Point P3 (2.0 , 5.0)

Point P4 (3.0 , 5.0)

Point P5 (3.0 , 3.0)

Point P6 (4.0 , 3.0)

5 - (Section 9.2)

$r = 0.2$

$$\alpha = \text{ARC TAN} \left(\frac{1.0 - 2.0}{1.0 - 4.0} \right) = 18.435°$$

$\Delta x = 0.2 * (1 - \cos(18.435°)) = 0.0103$

$\Delta z = 0.2 * (1 - \sin(18.435°)) = 0.1368$

Point P1 (X1 - Δx , Z1 - Δz)

Point P1 (1.0 - 0.0103 , 4.0 - 0.1368)

Point P1 (0.9897 , 3.8632)

Point P2 (X2 - Δx , Z2 - Δz)

Point P2 (2.0 - 0.0103 , 1.0 - 0.1368)

Point P2 (1.9897 , 0.8632)

6 - (Section 9.3)

$r = 0.2$

$$\alpha = \text{ARC TAN} \left(\frac{1.0 - 2.0}{1.0 - 4.0} \right) = 18.435°$$

$\Delta x = 0.2 * \cos(18.435°) = 0.1897$

$\Delta z = 0.2 * \sin(18.435°) = 0.0632$

Point P1 (1.0 + 0.1897 , 4.0 + 0.0632)

Point P1 (1.1897 , 4.0632)

Point P2 (2.0 + 0.1897 , 1.0 + 0.0632)

Point P2 (2.1897 , 1.0632)

Comparons le problème no 6 au problème no 5.

1.1897 - 0.9897 = 0.2 4.0632 - 3.8632 = 0.2

2.1897 - 1.9897 = 0.2 1.0632 - 0.8632 = 0.2

La différence est toujours égale à 0.2, c'est-à-dire au rayon de courbure de la pointe de l'outil.

7 - (Section 9.3)

Rayon décrit par le centre de l'outil = 2.0833 + 0.2 = 2.2833

Point P1, l'angle d'élévation est 90°.

Δx = 0.2 * COS (90°) = 0.0

Δz = 0.2 * SIN (90°) = 0.2

Point P1 (0.0 + Δx , 3.0 + Δz)

Point P1 (0.0 , 3.2)

Point P2, l'angle d'élévation est 16.260°.

Δx = 0.2 * COS (16.260°) = 0.192

Δz = 0.2 * SIN (16.260°) = 0.056

Point P2 (2.0 + Δx , 1.5 + Δz)

Point P2 (2.192 , 1.556)

8 - (Section 9.4)

Compensation
selon l'axe X = 2 * (217.00 - 217.00) = 0.0
de l'outil no 1

Compensation
selon l'axe Z = 140.22 - 140.22 = 0.0
de l'outil no 1

Compensation
selon l'axe X = 2 * (217.04 - 217.00) = 0.08
de l'outil no 2

Compensation
selon l'axe Z = 177.31 - 140.22 = 37.09
de l'outil no 2

Compensation
selon l'axe X = 2 * (191.67 - 217.00) = -50.66
de l'outil no 3

Compensation
selon l'axe Z = 127.86 - 140.22 = -12.36
de l'outil no 3

Compensation
selon l'axe X = 2 * (221.14 - 217.00) = 8.28
de l'outil no 4

Compensation
selon l'axe Z = 131.18 - 140.22 = -9.04
de l'outil no 4

9 - Il faut utiliser Q3 pour l'outil no 1.
(Section 9.4)

Il faut utiliser Q4 pour l'outil no 2.

10 - Les coordonnées sont X4.0 Z6.0. (Section 9.1)

11 - Les coordonnées sont X2.0 Z4.0. (Section 9.1)

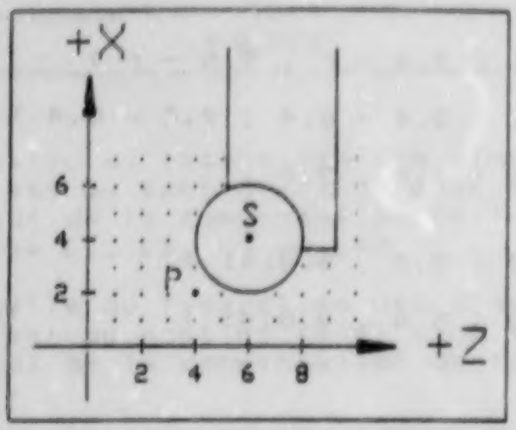


FIGURE 9.H

12 - Point P1 (2.4 , 9.4) (Section 9.3)

Point P2 Figure 8.44 r = 0.4 α = 56.310°

Δx = 0.4 * TAN (56.310 / 2) = 0.2141

Δy = 0.4

Il faut ici effectuer le changement d'axe.

L'axe +Y devient l'axe +X.
L'axe +X devient l'axe +Z.

D'où Δy = 0.4 devient Δx = 0.4

et Δx = 0.2141 devient Δz = 0.2141

Point P2 (2.0 + 0.4 , 6.0 + 0.2141)

Point P2 (2.4 , 6.2141)

Point P3 Figure 8.43 r = 0.4 α = 56.310°

Δx = 0.4 * TAN (56.310 / 2) = 0.2141

Δy = 0.4

Point P3 (5.4 , 4.2141)

13 - Pour tous les points à programmer, les coordonnées du point de référence P sont situées à un rayon dans la direction -X et un rayon dans la direction -Z par rapport au point de référence S. (Section 9.2)

Point P1 (2.4 - r , 9.4 - r)

Point P1 (2.4 - 0.4 , 9.4 - 0.4)

Point P1 (2.0 , 9.0)

Point P2 (2.0 , 5.8141)

Point P3 (5.0 , 3.8141)

CHAPITRE 9

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UN TOUR À CN

TEST

1 - A) Laquelle ou lesquelles des dimensions suivantes est ou sont utile(s) pour effectuer le calcul de la compensation de longueur d'outil? Est-ce L1, L2, L3 ou L4?

B) Laquelle ou lesquelles des dimensions suivantes est ou sont utile(s) pour effectuer le calcul de la compensation de largeur d'outil?

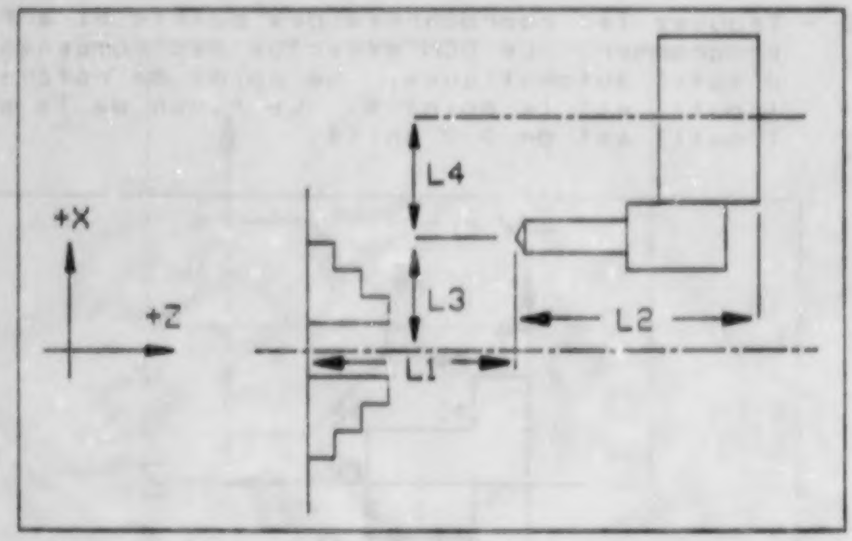


FIGURE 9.1

2 - Dessinez les 3 outils suivants en indiquant bien la position des points S et P sur chacun d'eux.

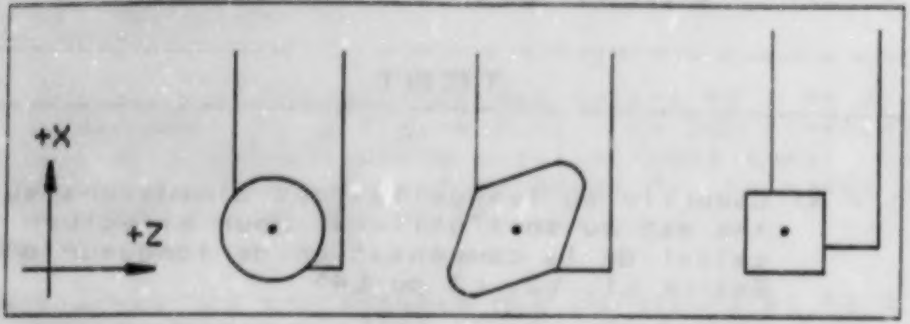


FIGURE 9.J

3 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P4 à programmer. Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques. Le point de référence sur l'outil est le point S. Le rayon de la pointe de l'outil est de 0.3 unité.

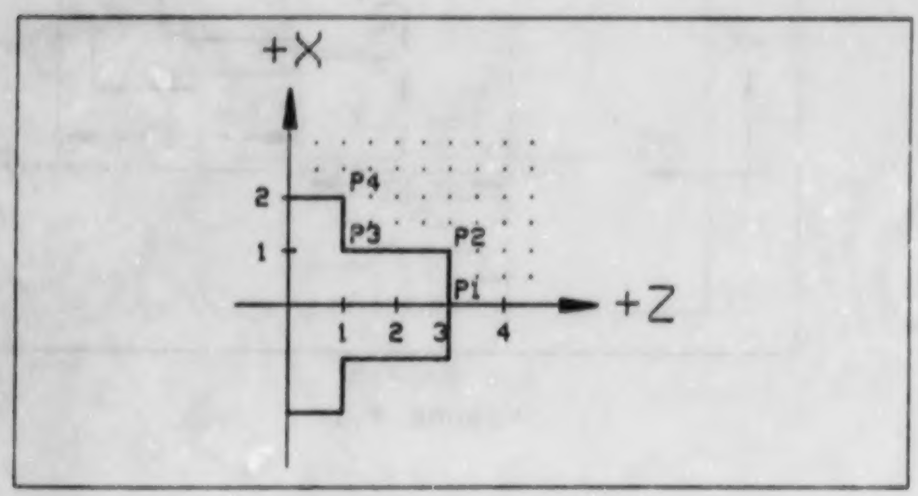


FIGURE 9.K

4 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P4 à programmer (voir Figure 9.K). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point S. Le rayon de l'outil est de 0.3 unité.

5 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P4 à programmer (voir Figure 9.K). Le DCN effectue des compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.3 unité.

6 - Trouvez les coordonnées des points P1 à P4 à programmer (voir Figure 9.K). Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.3 unité.

7 - Trouvez les coordonnées des points P1 et P2 à programmer permettant l'usinage de la partie conique de la pièce. Le DCN n'effectue pas de compensations d'outil automatiques. Le point de référence est le point P. Le rayon de l'outil est de 0.1 unité.

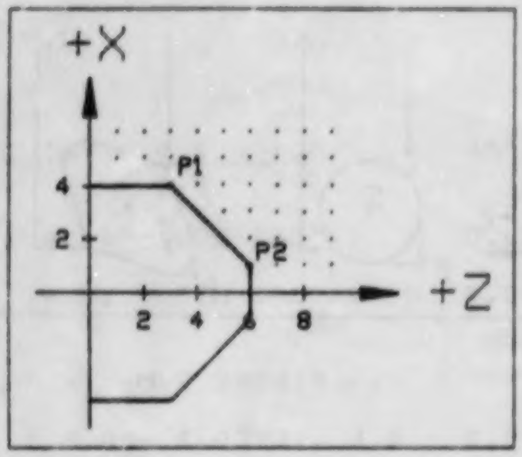


FIGURE 9.L

CHAPITRE 9

LES COMPENSATIONS D'OUTIL POUR UN TOUR À CN

TEST (CORRIGÉ)

1 - A) L4 est la dimension la plus utile, mais L3 est aussi acceptable. (Section 9.1)

B) L2 est la dimension la plus utile, mais L1 est aussi acceptable.

2 - (Section 9.1)

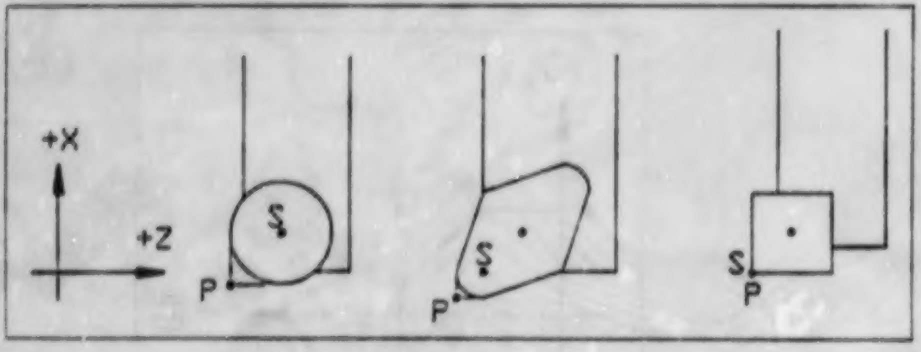


FIGURE 9.M

3 - Point P1 (0.0 , 3.0) (Section 9.4)

Point P2 (1.0 , 3.0)

Point P3 (1.0 , 1.0)

Point P4 (2.0 , 1.0)

4 - Point P1 (0.0 , 3.3) (Section 9.3)

Point P2 (1.3 , 3.3)

Point P3 (1.3 , 1.3)

Point P4 (2.3 , 1.3)

5 - Identique au problème no 3. (Section 9.4)

Point P1 (0.0 , 3.0)

Point P2 (1.0 , 3.0)

Point P3 (1.0 , 1.0)

Point P4 (2.0 , 1.0)

6 - Identique au problème no 4. (Section 9.2)

Point P1 (-0.3 , 3.0)

Point P2 (1.0 , 3.0)

Point P3 (1.0 , 1.0)

Point P4 (2.0 , 1.0)

7 - (Section 9.2)

$r = 0.1$

$$\alpha = \text{ARC TAN} \left(\frac{4.0 - 1.0}{6.0 - 3.0} \right) = 45°$$

$$\Delta x = 0.1 * (1 - \text{COS}(45°)) = 0.0293$$

$$\Delta y = 0.1 * (1 - \text{SIN}(45°)) = 0.0293$$

Point P1 (X1 - Δx , Z1 - Δz)

Point P1 (4.0 - 0.0293 , 3.0 - 0.0293)

Point P1 (3.9707 , 2.9707)

Point P2 (0.9707 , 5.9707)

ANNEXE F

PROJETS D'USINAGE

TABLEAUX

Voici 4 tableaux qui seront utiles lors de la réalisation des projets d'usinage.

- Le premier est un tableau de positionnement; il est utile pour compléter l'information 12 du travail à remettre.

- Le deuxième permet d'écrire le manuscrit du programme pièce, c'est-à-dire l'information 15 du travail à remettre.

- Les troisième et quatrième tableaux permettent de compléter l'information 8 du travail à remettre, qu'il s'agisse d'un projet de fraisage ou d'un projet de tournage.

Nous suggérons au professeur de reproduire ces tableaux et d'en laisser des copies à la disposition des élèves. Ceci assurera un meilleur encadrement à l'élève et facilitera la correction.

TABLEAU DE POSITIONNEMENT

DATE

NOM DE LA PIÈCE

NOM DU PROGRAMMEUR

NOM DU PROGRAMME

Point	X	Y	Z	Commentaires

FEUILLE DE PROGRAMMATION

DATE

NOM DE LA PIÈCE

NOM DU PROGRAMMEUR

NOM DU PROGRAMME

	PROGRAMME PIÈCE	Commentaires

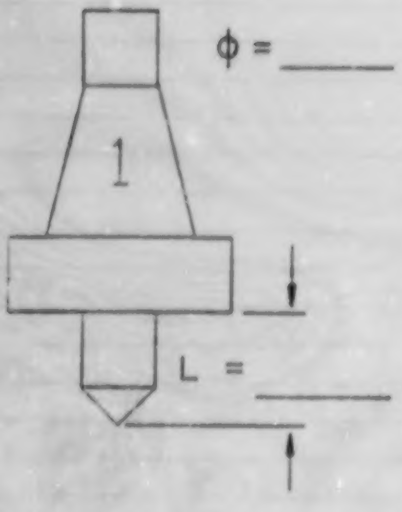
GAMME D'OUTIL

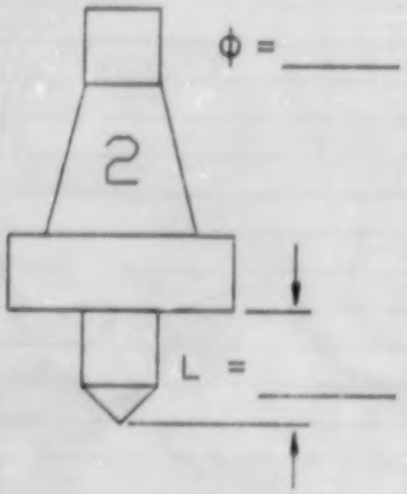
DATE

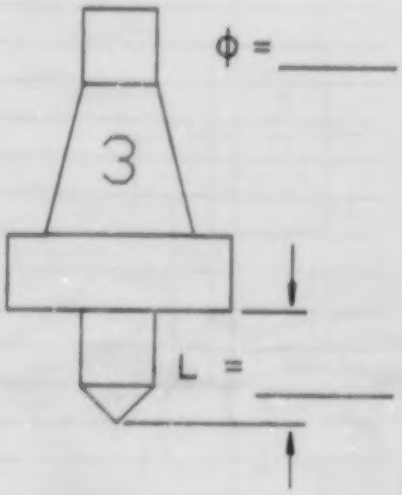
NOM DE LA PIÈCE

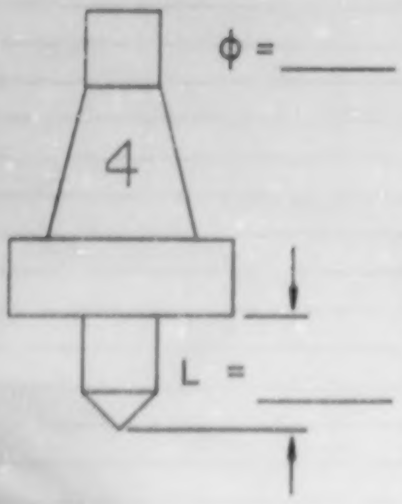
NOM DU PROGRAMMEUR

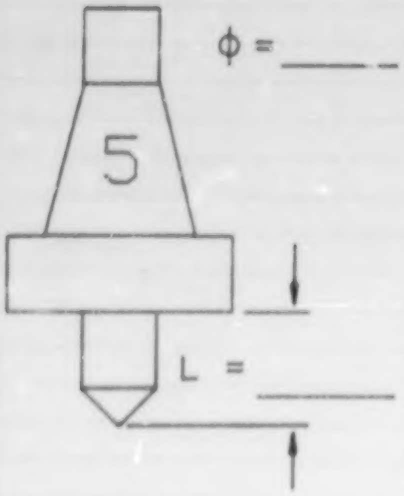
NOM DU PROGRAMME

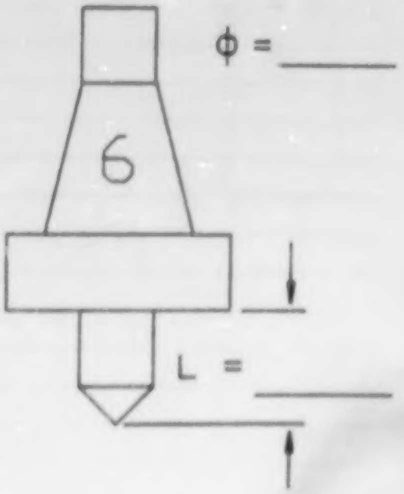


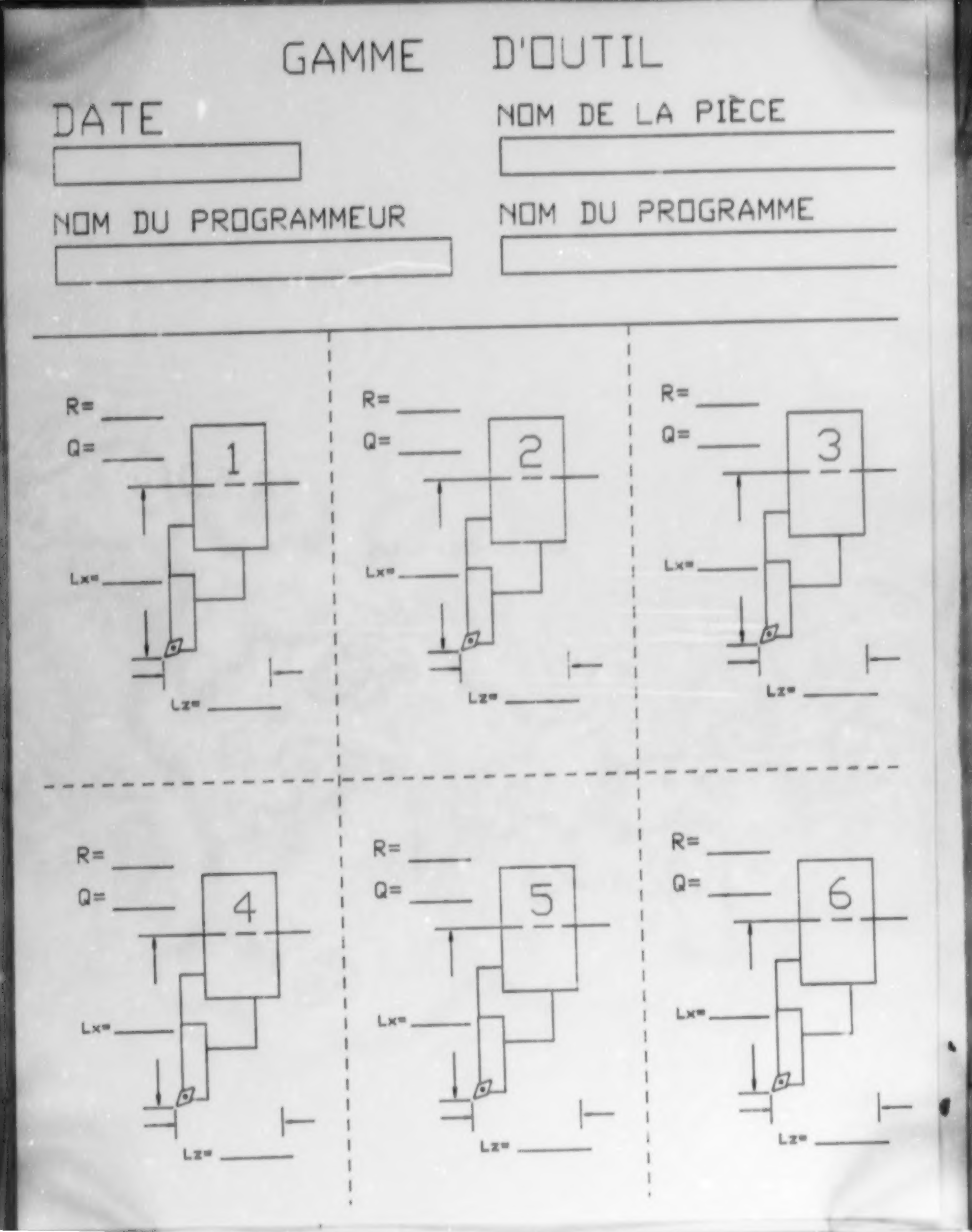











GAMME D'OUTIL

DATE

NOM DE LA PIÈCE

NOM DU PROGRAMMEUR

NOM DU PROGRAMME

ANNEXE G

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] [illegible]

[illegible] [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

PROJET DE FRAISAGE NO 1

LE CARRÉ

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

(Date) (Nom du programmeur)

(Nom et no du programme)

(Nom et no de la pièce)

(Lieu)

(MOCN utilisée)

INFORMATION 2 LE PLAN

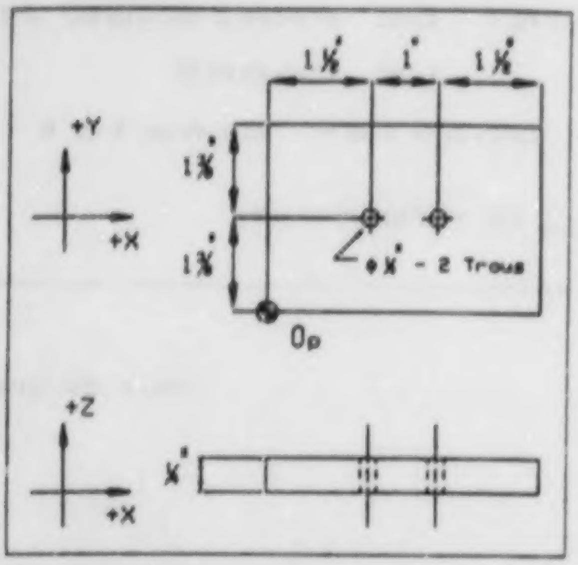


FIGURE F1.6

Matériau: Acier 1010, roulé à froid, 200 BHN.

Dimensions brutes: 3 * 4 1/4 * 1/4 po.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- L'unité de mesure est le pouce.
- Programmation sans compensation automatique du diamètre d'outil.
- Programmation avec une compensation automatique de la longueur d'outil.
- Les outils commencent et terminent leur trajet à l'origine outil (Oo).
- Tous les changements d'outil se font à l'origine outil (Oo).
- La programmation est en coordonnées absolues.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

Il faut installer une fixation sur la table de la fraiseuse sinon l'outil usinera dans la table.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	170	Fraisage avec l'outil no 1.
2	20	Cnangement d'outil.
3	65	Centrage avec l'outil no 2.
4	20	Changement d'outil.
5	40	Perçage avec l'outil no 3.
6	20	Changement d'outil.
7	60	Changement de pièce.

TABLEAU F1.3

Un temps total de 395 secondes ou 6 minutes et 35 secondes est requis pour usiner une pièce.

N.B. La durée des étapes 2, 4, 6 et 7 est arbitraire. Un opérateur peut prendre plus de temps qu'un autre à changer un outil ou une pièce. La durée de l'étape 3 est plus longue que celle de l'étape 5 puisqu'un changement de vitesse est requis dans la boîte de vitesse pour passer de 500 à 2900 RPM et qu'aucun changement de vitesse n'est requis pour passer de 2900 à 1200 RPM. Tous les temps calculés ici sont approximatifs: une MOCN peut prendre un peu plus ou un peu moins de temps qu'une autre à effectuer une opération.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Fraise périphérique en bout à 4 dents, HSS, ϕ1"

Outil no 2 Mèche à centrer no 2, HSS

Outil no 3 Foret à percer, HSS, Ø1/4"

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/min)	RPM	Niveau Z minimal (po)
1	8.0	500	-0.26
2	2.7	2900	-0.20
3	6.0	1200	-0.35

TABLEAU F1.4

- Le fluide de coupe est vaporisé.
- La broche est bridée lors du fraisage.

INFORMATION 8 LE SCHÉMA DES OUTILS

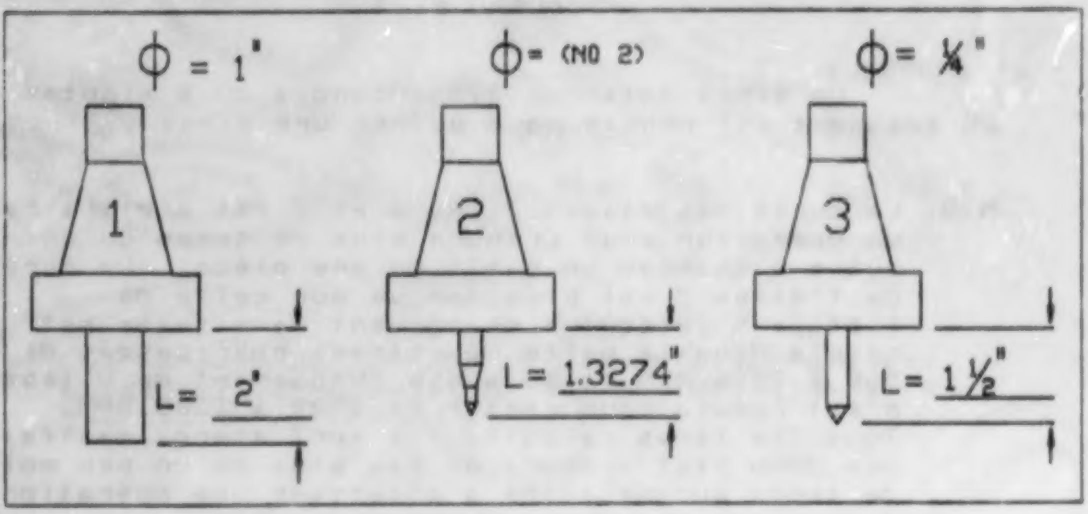


FIGURE F1.7

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation de la longueur d'outil no X = Longueur de l'outil correspondant − Longueur de l'outil de référence

Compensation de la longueur d'outil no 1 = 2.0 - 2.0 = 0.0 po

Compensation de la longueur d'outil no 2 = 1.3274 - 2.0 = -0.6726 po

Compensation de la longueur d'outil no 3 = 1.5 - 2.0 = -0.5 po

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (po)	Diamètre (po)
1	1	0.0000	1.0000 *
2	2	-0.6726	0.1875 *
3	3	-0.5000	0.2500 *

TABLEAU F1.5

* Les valeurs des diamètres peuvent être omises, puisque la programmation tient compte, dans ce cas-ci, du centre de l'outil.

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

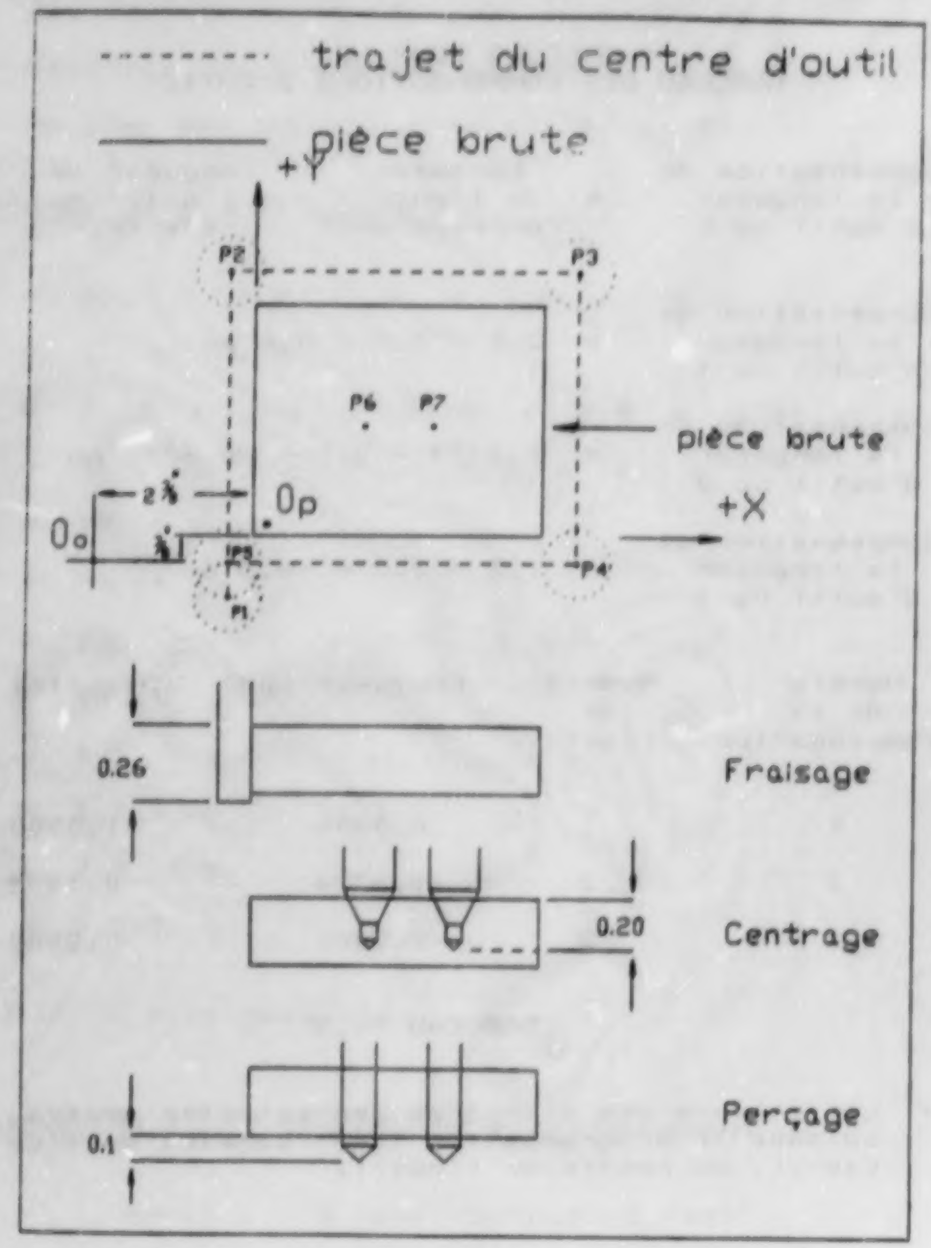


FIGURE F1.8

Op est située au niveau supérieur de la plaque. Oo est située à 1 po au-dessus du niveau supérieur de la plaque.

Le carré

1 - Fraisage du point P1 au point P2, puis au point P3, puis au point P4, puis au point P5.

2 - Centrage des trous aux points P6 et P7.

3 - Perçage des trous aux points P6 et P7.

INFORMATION 11 LES CALCULS

X1 = X0p - d/2 = 0 - 0.5 = -0.5

X2 = X1 = -0.5

Y2 = 2.75 + d/2 = 2.75 + 0.5 = 3.25

X3 = 4 + d/2 = 4 + 0.5 = 4.5

Y3 = Y2 = 3.25

X4 = X3 = 4.5

Y4 = Y0p - d/2 = 0 - 0.5 = -0.5

Y5 = Y4 = -0.5

X6 = 1.5 *

Y6 = 1.375 *

X7 = 2.5 *

Y7 = 1.375 *

* Voir le plan détaillé.

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	-2.5	-0.5	1.0
P1	-0.5	-1.0	1.0
P1	-0.5	-1.0	-0.26
P2	-0.5	3.25	-0.26

P3	4.5	3.25	-0.26
P4	4.5	-0.5	-0.26
P5	-0.1	-0.5	-0.26
P5	-0.1	-0.5	1.0
Oo	-2.5	-0.5	1.0
P6	1.5	1.375	1.0
P6	1.5	1.375	-0.20
P6	1.5	1.375	1.0
P7	2.5	1.375	1.0
P7	2.5	1.375	-0.20
P7	2.5	1.375	1.0
Oo	-2.5	-0.5	1.0
P6	1.5	1.375	1.0
P6	1.5	1.375	-0.35
P6	1.5	1.375	1.0
P7	2.5	1.375	1.0
P7	2.5	1.375	-0.35
P7	2.5	1.375	1.0
Oo	-2.5	-0.5	1.0

TABLEAU F1.6

<u>INFORMATION 13</u> LE SCHÉMA DU MONTAGE

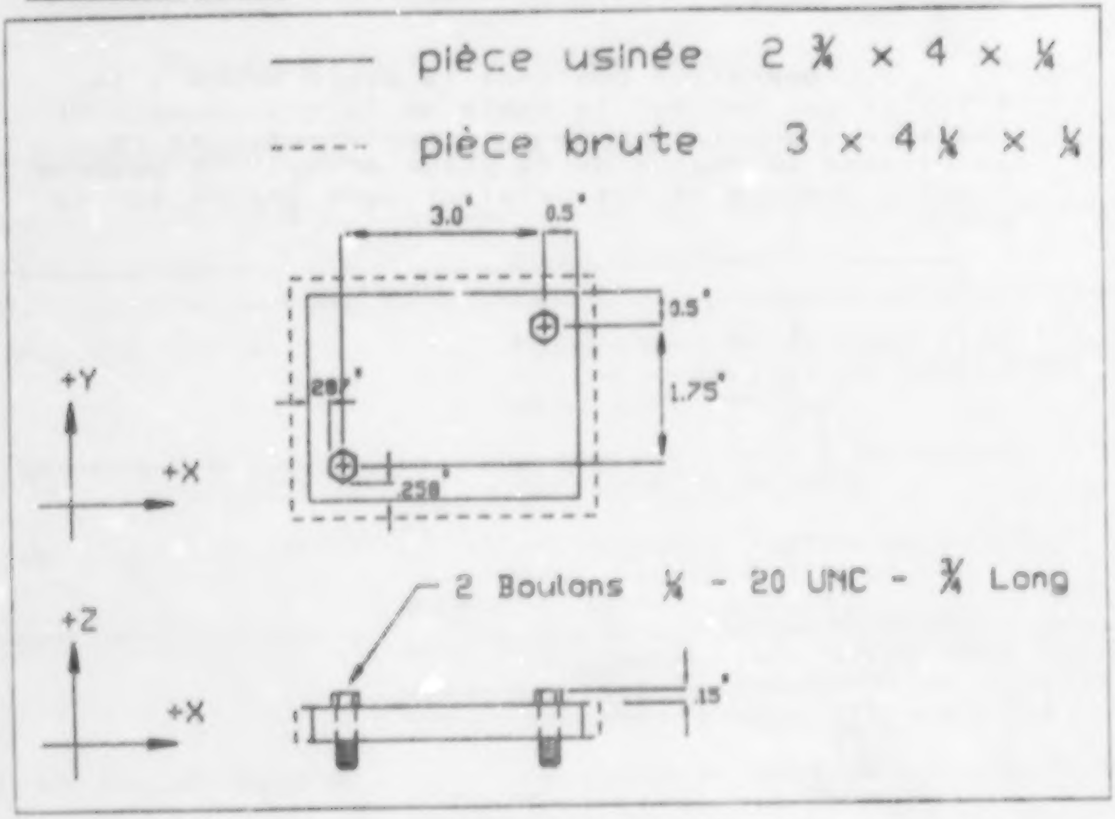


FIGURE F1.9

- Percez 2 trous de 9/32" de diamètre en coins opposés tels que montrés à la figure F1.9.

- Fixez la plaque avec 2 boulons à tête creuse hexagonale.

N.B. La table doit être munie d'un support quelconque fileté pour permettre aux boulons de serrer la plaque. Il est suggéré de fixer une plaque d'aluminium sur la table de la fraiseuse et de fixer la pièce sur la plaque d'aluminium. De cette façon, il est possible d'usiner à un niveau inférieur à la pièce sans usiner dans la table.

<u>INFORMATION 14</u> LES PRÉPARATIFS

L'opérateur boulonne la pièce brute à la fixation qui est sur la table de la fraiseuse. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil et le positionne au-dessus de la pièce brute. Il descend l'outil jusqu'à ce que celui-ci soit appuyé sur la pièce.

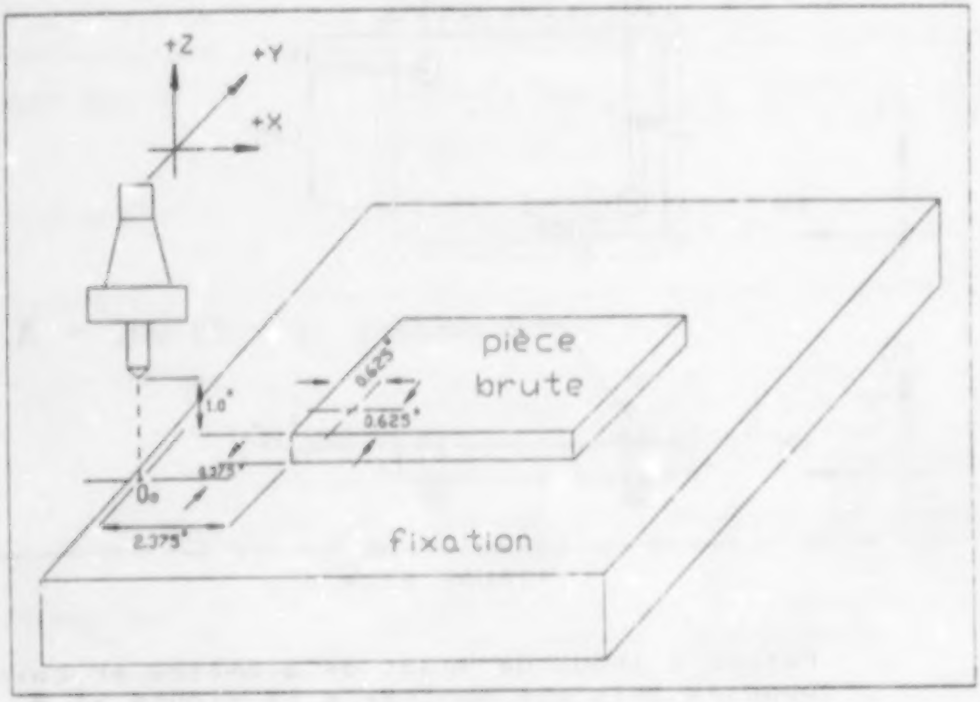


FIGURE F1.10

Il remonte l'outil de 1.0 po, puis le déplace <u>au-dessus du boulon</u> avant gauche sans mouvement dans la direction Z. Il déplace l'outil de 3.0 po dans la direction -X et de 1.0 po dans la direction -Y. Il pèse sur le bouton "SET HOME". Il est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur le bouton "START".

N.B. Il est fortement probable que les préparatifs diffèrent selon la MOCN utilisée.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G40 G70 G90 *	Programmation du centre de l'outil en pouces et en coordonnées absolues.
N20 G92 X-2.5 Y-0.5 Z1.0 *	L'outil se trouve au point Oo (-2.5,-0.5,1.0).
N30 G01 X-0.5 Y-1.0 F400.0 *	Déplacement rapide au point P1 (-0.5,-1.0,1.0).
N40 M03 S500 T01 M07 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 500 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 1; le fluide est vaporisé.
N50 G01 Z-0.27 F8.0 *	Descente en Z=-0.26 en avance programmee de 8.0 po/min.
N60 Y3.25 M10 *	La broche est bridée avant un déplacement au point P2 en avance programmée.
N70 X4.5 *	Déplacement au point P3 en avance programmée.
N80 Y-0.5 *	Déplacement au point P4 en avance programmée.
N90 X-0.1 M11 *	La broche est débridée après le déplacement au point P5 en avance programmée.
N100 G01 Z1.0 F400.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N110 X-2.5 Y-0.5 *	Déplacement rapide au point Oo.
N120 M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 1 (la fraise) par l'outil no 2 (le foret à centrer) et peser "START".

N130 M03 S2900 T02 M07 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 2900 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 2; le fluide est vaporisé.
N140 X1.5 Y1.375 *	Déplacement rapide au point P6.
N150 G81 Z-0.2 R0.05 F2.7 *	Un trou est centré jusqu'au niveau Z=-0.20 en avance programmée de 2.75 po/min et l'outil remonte rapidement jusqu'au niveau Z=0.05.
N160 X2.5 *	Déplacement rapide au point P7, puis un trou est centré jusqu'au niveau Z=-0.20 en avance programmée de 2.75 po/min et l'outil remonte rapidement jusqu'au niveau Z=0.05.
N170 G80 *	Le cycle de perçage est annulé.
N180 Z1.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N190 X-2.5 Y-0.5 *	Déplacement rapide au point Oo.
N200 M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 2 (le foret à centrer) par l'outil no 3 (le foret à percer) et peser "START".

N210 M03 S1200 T03 M07 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1200 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 3; le fluide est vaporisé.
N220 X1.5 Y1.375 *	Déplacement rapide au point P6.
N230 G81 Z-0.35 R0.05 F6.0 *	Un trou est percé jusqu'au niveau Z=-0.35 en avance programmée de 6.0 po/min et l'outil remonte rapidement jusqu'au niveau Z=0.05.

N240 X2.5 *	Déplacement rapide au point P7, puis un trou est percé jusqu'au niveau Z=-0.35 en avance programmée de 6.0 po/min et l'outil remonte rapidement jusqu'au niveau Z=0.05.
N250 G80 *	Le cycle de perçage est annulé.
N260 Z1.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N270 X-2.5 Y-0.5 *	Déplacement rapide au point Oo.
N290 T00 *	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire de longueur et de diamètre nuls.
N290 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 3 (le foret à percer) par l'outil no 1 (la fraise), remplacer la pièce usinée par une pièce brute sur la table de la fraiseuse et peser "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

N.B. Votre programme pièce n'est probablement pas identique au nôtre, mais cela ne veut pas dire pour autant qu'il est erroné.

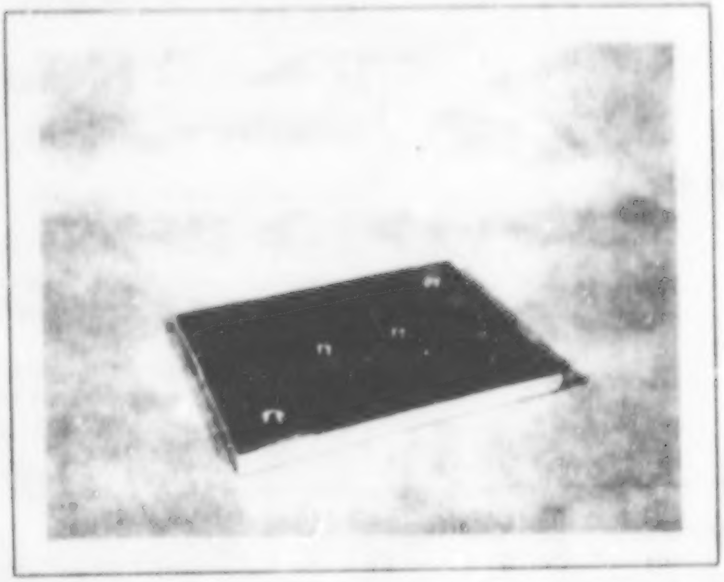


FIGURE F1.11

N.B. La photographie de la pièce produite ne fait pas partie du dossier que l'élève doit remettre. Elle n'apparaît qu'à titre d'information supplémentaire pour une meilleure compréhension du projet.

PROJET DE FRAISAGE NO 2

LE CONTOURNAGE

Dossier complet

<u>INFORMATION 1</u> LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

<u>INFORMATION 2</u> LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 3</u> LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 4</u> LES PRÉCAUTIONS

Il faut installer une fixation sur la table de la fraiseuse, sinon l'outil usinera dans la table.

<u>INFORMATION 5</u> LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	125	Fraisage avec l'outil no 1.
2	60	Changement de pièce.

TABLEAU F2.3

Un temps total de 185 secondes ou 3 minutes et 5 secondes est requis pour usiner une pièce.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation du diamètre d'outil no X (ébauche) = Diamètre de l'outil correspondant + 2 surépaisseurs

Compensation du diamètre d'outil no 1 (ébauche) = 16 + 2 * 1 = 18 mm

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
1	1	0.0	18.0

TABLEAU F2.4

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

Calcul de X3

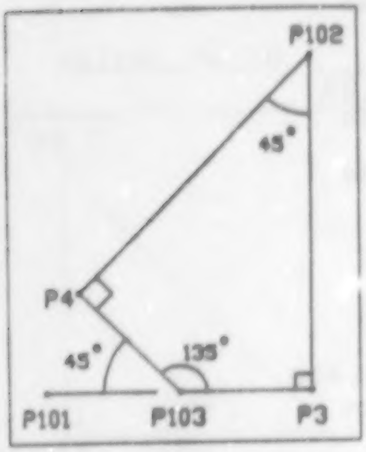


FIGURE F2.4

<P101P103P3 = 180°

D'où <P3P103P4 = 180 - 45 = 135°

La somme des angles intérieurs d'un quadrilatère = 360°

D'où <P4P102P3 = 45°

Il y a symétrie par rapport à la droite.

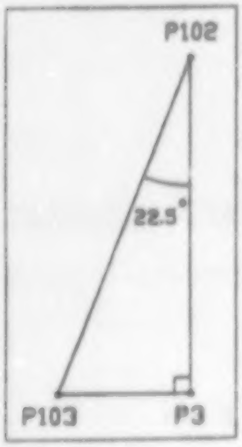


FIGURE F2.5

$<P103P102P3 = \frac{<P4P102P3}{2} = 22.5°$

$\overline{P102P3}$ = 9 mm = rayon d'outil

$TAN\ 22.5° = \frac{\overline{X103X3}}{9}$

D'où $\overline{X103X3}$ = 3.728 mm

X103 = 100 - 25 = 75

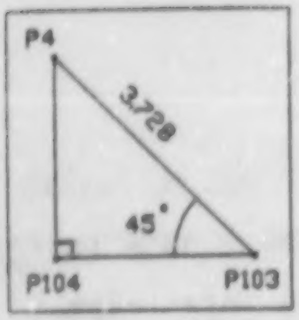
X3 = X103 + $\overline{X103X3}$

= 75 + 3.728

X3 = 78.728 mm

Calcul de X4 et Y4

$\overline{P4P103}$ = $\overline{P103P3}$ = 3.728 mm (par symétrie)



$$\cos 45° = \frac{\overline{X103X104}}{3.728}$$

$$\overline{X103X104} = 2.636$$

$$\sin 45° = \frac{\overline{Y4Y104}}{3.728}$$

$$\overline{Y4Y104} = 2.636$$

FIGURE F2.6

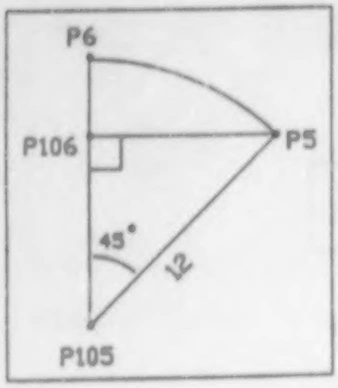
$$X4 = X104 = X103 - \overline{X103X104} = 75 - 2.636$$

X4 = 72.364 mm

$$Y4 = Y104 + \overline{Y4Y104} = 25 + 2.636$$

Y4 = 27.636 mm

<u>Calcul de X5</u>



$$\overline{P105P6} = \overline{P105P5} = 12 \text{ mm}$$

$$\angle P6P105P5 = 45°$$

$$\sin 45° = \frac{\overline{X106X5}}{12}$$

$$\overline{X106X5} = 8.485$$

$$X5 = X6 + \overline{X106X5}$$

$$= 25 + 8.485$$

FIGURE F2.7

X5 = 33.485 mm

Calcul de Y5

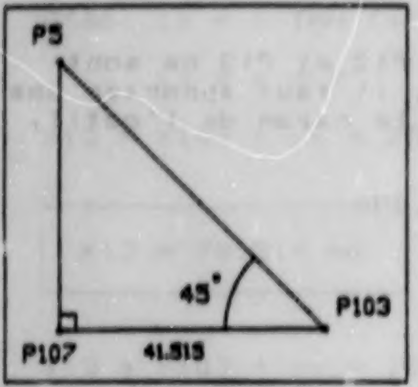


FIGURE F2.8

$\overline{X107X103} = X103 - X5 = 75 - 33.485$

$\overline{X107X103} = 41.515$

$TAN\ 45° = \dfrac{\overline{Y5Y107}}{41.515}$

$\overline{Y5Y107} = 41.515$

$Y5 = Y103 + \overline{Y5Y107}$

$= 25 - 41.515$

Y5 = 66.515 mm

Calcul de Y6

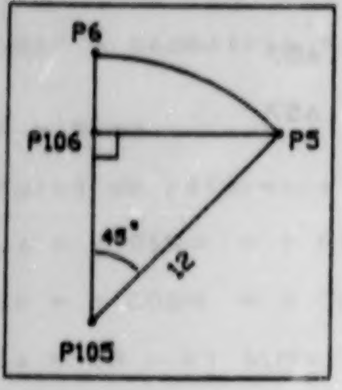


FIGURE F2.9

$COS\ 45° = \dfrac{\overline{Y106Y105}}{12}$

$\overline{Y106Y105} = 8.485$

$\overline{Y6Y106} = \overline{Y6Y105} - \overline{Y106Y105}$

$= 12 - 8.485$

$\overline{Y6Y106} = 3.515$

$Y6 = Y5 + \overline{Y6Y106}$

$= 66.515 + 3.515$

Y6 = 70.030 mm
Y7 = Y6 = 70.030 mm
Y8 = Y6 = 70.030 mm

Les points P9, P10, P11, P12 et P13 ne sont pas sur la surface usinée. Donc, il faut apporter une correction d'outil de 8 mm, soit le rayon de l'outil.

Y9 = Y8 + d/2 = 70.030 + 8 = 78.030

X10 = X6 = 25

Y10 = Y9 = 78.030

Y13 = Y1 + d/2 = 25 + 8 = 33

__Calcul de X11 et Y11__

Voir : Géométrie 5 Section 8.3.1 Figure 8.51

R = 12 mm r = 8 mm α = 45°

Point de référence = point P5

D'où $\Delta x = r \sin\alpha = 8 \sin 45° = 5.657$

$\Delta y = r \cos\alpha = 8 \cos 45° = 5.657$

X11 = X5 + Δx = 33.485 + 5.657

X11 = 39.142 mm

Y11 = Y5 + Δy = 66.515 + 5.657

Y11 = 72.172 mm

<u>Calcul de X12 et Y12</u>

Voir : Géométrie 1   Section 8.3.1   Figure 8.44

r = 8 mm α = 45°

Point de référence = point P103

D'où $\Delta x = r \text{ TAN } (\alpha/2) = 8 \text{ TAN } (45/2) = 3.314$

$\Delta y = r = 8$

$X12 = X103 + \Delta x = 75 + 3.314$

X12 = 78.314 mm

$Y12 = Y103 + \Delta y = 25 + 8$

Y12 = 33 mm

<u>Calcul des mots I et J</u>

Arc de cercle <u>du point P3 au point P4</u>

Voir : Géométrie 4   Section 8.3.1   Figure 8.50

R = 9 mm   r = 9 mm α = 0°

Point de référence = point P3

$\Delta x = r \text{ SIN}\alpha = 9 \text{ SIN } 0° = 0$

$\Delta y = r \text{ COS}\alpha = 9 \text{ COS } 0° = 9$

$Is = (R - r) \text{ SIN}\alpha = (9 - 9) \text{ SIN } 0° = 0$

$Js = (R - r) \text{ COS}\alpha = (9 - 9) \text{ COS } 0° = 0$

$Ia = R \sin\alpha = 9 \sin 0° = 0$

$Ja = R \cos\alpha = 9 \cos 0° = 9$

I	=	0
J	=	9 mm

Arc de cercle <u>du point P5 au point P6</u>

Voir : Géométrie 5 Section 8.3.1 Figure 8.51

R = 12 mm r = 9 mm $\alpha = 45°$

Point de référence = point P5

$\Delta x = r \sin\alpha = 9 \sin 45° = 6.364$

$\Delta y = r \cos\alpha = 9 \cos 45° = 6.364$

$Is = (R + r) \sin\alpha = (12 + 9) \sin 45° = 14.849$

$Js = (R + r) \cos\alpha = (12 + 9) \cos 45° = 14.849$

$Ia = R \sin\alpha = 12 \sin 45° = 8.485$

$Ja = R \cos\alpha = 12 \cos 45° = 8.485$

I	=	8.485 mm
J	=	8.485 mm

Arc de cercle <u>du point P10 au point P11</u>

Voir : Géométrie 5 Section 8.3.1 Figure 8.52

R = 12 mm r = 8 mm $\alpha = 0°$

Point de référence = point P10

$\Delta x = r\ SIN\alpha = 8\ SIN\ 0° = 0$

$\Delta y = r\ COS\alpha = 8\ COS\ 0° = 8$

$Is = (R + r)\ SIN\alpha = (12 + 8)\ SIN\ 0° = 0$

$Js = (R + r)\ COS\alpha = (12 + 8)\ COS\ 0° = 20$

$Ia = R\ SIN\alpha = 12\ SIN\ 0° = 0$

$Ja = R\ COS\alpha = 12\ COS\ 0° = 12$

I = 0
J = 20 mm

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Oo	200.000	0.000	50.000
P1	112.000	25.000	50.000
P1	112.000	25.000	-5.500
P2	100.000	25.000	-5.500
P3	78.728	25.000	-5.500
P4	72.364	27.636	-5.500
P5	33.485	66.515	-5.500
P6	25.000	70.030	-5.500
P7	0.000	70.030	-5.500
P8	-12.000	70.030	-5.500
P9	-12.000	78.030	-5.500
P10	25.000	78.030	-5.500
P11	39.142	72.172	-5.500

P12	78.314	33.000	-5.500
P13	106.000	33.000	-5.500
P13	106.000	33.000	50.000
Oo	200.000	0.000	50.000

TABLEAU F2.5

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G17 G71 G90 *	Sélection du plan X-Y, programmation en millimètres et en coordonnées absolues.
N20 G92 X200.0 Y0.0 Z50.0 *	L'outil se trouve au point Oo (200.0,0.0,50.0).
N30 G01 X112.0 Y34.0 F9999 *	Déplacement rapide au point P1.
N40 M03 S1200 T01 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1200 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 1.
N50 G01 Z-5.5 F180 *	Descente en Z=-5.5 en avance programmée de 180 mm/min.

N60 G42 X111.0 Y25.0 M10 *	La broche est bridée avant un déplacement linéaire à 1 mm du point P1 en avance programmée. Le déplacement s'effectue à la droite du point programmé.
N70 X78.728 *	Déplacement linéaire au point P3 en avance programmée.
N80 G02 X72.364 Y27.636 J9.0 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P4 en avance programmée.
N90 G08 G01 X33.485 Y66.515 *	Déplacement linéaire au point P5 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N100 G03 X25.0 Y70.03 I8.485 J8.485 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P6 en avance programmée et sans décélération à la fin du mouvement.
N110 G09 G01 X-12.0 *	Déplacement linéaire au point P8 en avance programmée avec décélération de la table à la fin du mouvement.
N120 G40 Y78.03 *	Déplacement du centre de l'outil au point P9.
N130 S1500 *	Rotation de la broche à 1500 RPM.
N140 G08 X25.0 F150 *	Déplacement au point P10 en avance programmée de 150 mm/min sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N150 G02 X39.142 Y72.172 J20.0 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P11 en avance programmée sans décélération à la fin du mouvement.
N160 G09 G01 X78.314 Y33.0 *	Déplacement linéaire au point P12 en avance programmée avec décélération de la table à la fin du mouvement.
N170 X106.0 M11 *	Déplacement linéaire au point P13 en avance programmée avec décélération à la fin du mouvement et débridage de la broche à la fin du mouvement.

N180 G01 Z50.0 F9999 M05 *	Arrêt de la rotation de la broche et remontée rapide en Z=50.0.
N190 X200.0 Y0.0 *	Déplacement rapide au point Oo.
N200 T00 *	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à dire de longueur et de diamètre nuls.
N210 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit remplacer la pièce usinée par une pièce brute sur la table de la fraiseuse et peser "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

FIGURE F2.10

N.B. La photographie de la pièce produite ne fait pas partie du dossier que l'élève doit remettre. Elle n'apparaît qu'à titre d'information supplémentaire pour une meilleure compréhension du projet.

PROJET DE FRAISAGE NO 3

LE PIÉDESTAL

Dossier complet

INFORMATION 1 – PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

Il faut installer une fixation sur la table de la fraiseuse, sinon l'outil usinera dans la table.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	140	Fraisage avec la compensation d'outil no 1.
2	140	Fraisage avec la compensation d'outil no 2.
3	140	Fraisage avec la compensation d'outil no 3.
4	140	Fraisage avec la compensation d'outil no 4.
5	140	Fraisage avec la compensation d'outil no 5.
6	80	Changement de pièce.

TABLEAU F3.3

Un temps total de 780 secondes ou 13 minutes et 0 seconde est requis pour usiner une pièce.

N.B. Aucun temps n'est compté ici pour les changements d'outil, puisque tout le travail se fait avec le même outil. Les temps sont calculés sans que le commutateur de l'arrêt optionnel "OP STOP" soit activé.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation du diamètre d'outil no X (ébauche) = Diamètre de l'outil correspondant + 2 surépaisseurs

Compensation du diamètre d'outil no 1 = 0.25 + 2 * 0.00 = 0.25 po

Compensation du diamètre d'outil no 2 = 0.25 + 2 * 0.03 = 0.31 po

Compensation du diamètre d'outil no 3 = 0.25 + 2 * 0.06 = 0.37 po

Compensation du diamètre d'outil no 4 = 0.25 + 2 * 0.09 = 0.43 po

Compensation du diamètre d'outil no 5 = 0.25 + 2 * 0.12 = 0.49 po

Compensation de la longueur d'outil no X = Longueur de l'outil correspondant - Longueur de l'outil de référence + surépaisseur

Compensation de la longueur d'outil no 1 = 1.017 - 1.017 - 0.05 = -0.05 po

Compensation de la longueur d'outil no 2 = 1.017 - 1.017 - 0.10 = -0.10 po

Compensation de la longueur d'outil no 3 = 1.017 - 1.017 - 0.15 = -0.15 po

Compensation de la longueur d'outil no 4 = 1.017 - 1.017 - 0.20 = -0.20 po

Compensation de la longueur d'outil no 5 = 1.017 - 1.017 - 0.26 = -0.26 po

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (po)	Diamètre (po)
1	1	-0.05	0.25
2	1	-0.10	0.31
3	1	-0.15	0.37
4	1	-0.20	0.43
5	1	-0.26	0.49

TABLEAU F3.4

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

Calcul de X3 et Y3

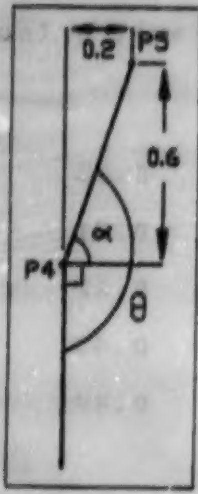
$X3 = X2 + 0.4 = 0 + 0.4 = 0.4$

$Y3 = Y2 + 0.4 = 0 + 0.4 = 0.4$

X3 = 0.4
Y3 = 0.4

Calcul de X4av , Y4av , X4ap , Y4ap

Voir : Géométrie 9 Section 8.3.1 Figure 8.58



$\tan\alpha = \frac{0.6}{0.2} = 3$

$\alpha = \text{ARC TAN } (3)$

$\alpha = 71.565°$

$\theta = \alpha + 90° = 161.565°$

$R = 0.25$

FIGURE F3.4

$X4 = X3 = 0.4$

$Y4 = Y3 + 0.2 = 0.4 + 0.2 = 0.6$

$$XE - XA = R \frac{\cos(\alpha - \theta/2)}{\sin(\theta/2)}$$

$$= 0.25 \frac{\cos(71.565 - 161.565/2)}{\sin(161.565/2)}$$

$$= 0.25$$

$$YE - YA = R \frac{\sin(\alpha - \theta/2)}{\sin(\theta/2)}$$

$$= 0.25 \frac{\sin(71.565 - 161.565/2)}{\sin(161.565/2)}$$

$$= -0.0406$$

X4s = X4 + (XE - XA) = 0.4 + 0.25 = 0.65

Y4s = Y4 + (YE - YA) = 0.6 - 0.0406 = 0.5594

XE - XT1 = R SINα = 0.25 SIN 71.565° = 0.2372

YE - YT1 = - R COSα = -0.25 COS 71.565° = -0.0791

X4ap = X4s - (XE - XT1) = 0.65 - 0.2372 = 0.4128

Y4ap = Y4s - (YE - YT1) = 0.5594 - (-0.0791) = 0.6385

X4ap = 0.4128
Y4ap = 0.6385

XE - XT2 = R SIN (θ - α)

= 0.25 SIN (161.565 - 71.565) = 0.25

YE - YT2 = R COS (θ - α)

= 0.25 COS (161.565 - 71.565) = 0

X4av = X4s - (XE - XT2) = 0.65 - 0.25 = 0.4

Y4av = Y4s - (YE - YT2) = 0.5594 - 0 = 0.5594

X4av = 0.4
Y4av = 0.5594

Calcul de X5av, Y5av, X5ap, Y5ap

Voir : Géométrie 9   Section 8.3.1   Figure 8.58

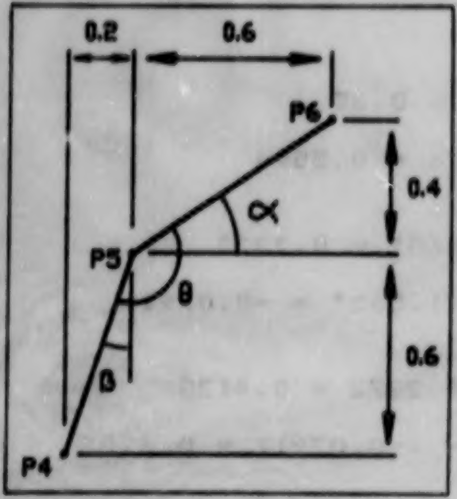


FIGURE F3.5

$$TAN\alpha = \frac{0.4}{0.6}$$

$$\alpha = ARC\ TAN\ \left(\frac{0.4}{0.6}\right) = 33.690°$$

$$\theta = \alpha + 90 + \beta$$

$$TAN\beta = \frac{0.2}{0.6}$$

$$\beta = ARC\ TAN\ \left(\frac{0.2}{0.6}\right) = 18.435°$$

$$\theta = 33.690 + 90 + 18.435$$

$$\theta = 142.125°$$

$$R = 0.25$$

$$X5 = X4 + 0.2 = 0.4 + 0.2 = 0.6$$

$$Y5 = Y4 + 0.6 = 0.6 + 0.6 = 1.2$$

$$XE - XA = R\ \frac{COS\ (\alpha - \theta/2)}{SIN\ (\theta/2)}$$

$$= 0.25\ \frac{COS\ (33.69 - 142.125/2)}{SIN\ (142.125/2)}$$

$$= 0.2100$$

$$YE - YA = R\ \frac{SIN\ (\alpha - \theta/2)}{SIN\ (\theta/2)}$$

$$= 0.25 \frac{\sin(33.69 - 142.125/2)}{\sin(142.125/2)}$$

$$= -0.1604$$

X5s = X5 + (XE - XA) = 0.6 + 0.21 = 0.81

Y5s = Y5 + (YE - YA) = 1.2 - 0.1604 = 1.0396

XE - XT1 = R SINα = 0.25 SIN 33.69° = 0.1387

YE - YT1 = - R COS α = -0.25 COS 33.69° = -0.2080

X5ap = X5s - (XE - XT1) = 0.81 - 0.1387 = 0.6713

Y5ap = Y5s - (YE - YT1) = 1.0396 - (-0.2080) = 1.2476

X5ap = 0.6713
Y5ap = 1.2476

XE - XT2 = R SIN (θ - α)

= 0.25 SIN (142.125 - 33.69) = 0.2372

YE - YT2 = R COS (θ - α)

= 0.25 COS (142.125 - 33.69) = -0.0791

X5av = X5s - (XE - XT2) = 0.81 - 0.2372 = 0.5728

Y5av = Y5s - (YE - YT2) = 1.0396 - (-0.0791) = 1.1187

X5av = 0.5728
Y5av = 1.1187

Calcul de X6 et Y6

X6 = X5 + 0.6 = 0.6 + 0.6 = 1.2

Y6 = Y5 + 0.4 = 1.2 + 0.4 = 1.6

X6 = 1.2
Y6 = 1.6

Calcul de X7 et Y7

X7 = X6 = 1.2

Y7 = Y6 + 0.6 = 1.6 + 0.6 = 2.2

X7 = 1.2
Y7 = 2.2

Calcul de X10 et Y10

X10 = X2 + 0.4 = 0 + 0.4 = 0.4

Y10 = Y7 + 0.6 = 2.2 + 0.6 = 2.8

X10 = 0.4
Y10 = 2.8

Calcul de Y11

Y11 = Y10 - 0.4 = 2.8 - 0.4 = 2.4

Y11 = 2.4

Calcul de X9 et Y9

X9 = X10 + 0.2 = 0.4 + 0.2 = 0.6

Y9 = Y10 + 0.2 = 2.8 + 0.2 = 3.0

X9 = 0.6
Y9 = 3.0

Calcul de X8 et Y8

X8 = X9 + 0.2 = 0.6 + 0.2 = 0.8

Y8 = X10 = 2.8

X8 = 0.8
Y8 = 2.8

Calcul des mots I et J

Arc de cercle du point P2 au point P3

I = 0
J = 0.4

Arc de cercle <u>du point P4av au point P4ap</u>

Voir : Géométrie 4 Section 8.3.1 Figure 8.50

$R = 0.25$ $r = 0.25$ $\alpha = 0°$

$Ja = R \text{ SIN}\alpha = 0.25 \text{ SIN } 0° = 0.0$

$Ia = R \text{ COS}\alpha = 0.25 \text{ COS } 0° = 0.25$

I = 0.25
J = 0.0

Arc de cercle <u>du point P5av au point P5ap</u>

Voir : Géométrie 4 Section 8.3.1 Figure 8.50

$R = 0.25$ $r = 0.25$ $\alpha = \text{ARC TAN } \frac{(0.2)}{(0.6)} = 18.435°$

$J = R \text{ SIN}\alpha = 0.25 \text{ SIN } 18.435° = 0.0791$

$I = R \text{ COS}\alpha = 0.25 \text{ COS } 18.435° = 0.2372$

I = 0.2372
J = 0.0791

Arc de cercle <u>du point P7 au point P8</u>

Équation du cercle passant par P7 et P8.

$$(X - H)^2 + (Y - 2.8)^2 = R^2$$

Le point P8 (0.8 , 2.8) appartient au cercle.

$$(0.8 - H)^2 + (2.8 - 2.8)^2 = R^2$$

(A) $$(0.8 - H)^2 = R^2$$

(B) $$\pm (0.8 - H) = R$$

Le point P7 (1.2 , 2.2) appartient au cercle.

(C) $$(1.2 - H)^2 + (2.2 - 2.8)^2 = R^2$$

De (A) et (C) $$(1.2 - H)^2 + (2.2 - 2.8)^2 = (0.8 - H)^2$$

$$1.44 + H^2 - 2.4H + 0.36 = 0.64 + H^2 - 1.6H$$

$$1.16 = 0.8H$$

$$H = 1.45$$

De (B) $$R = \pm (0.8 - H) = \pm (0.8 - 1.45)$$

$$R = -0.65 \text{ et } 0.65$$

$$R = 0.65$$

$$(X - 1.45)^2 + (Y - 2.8)^2 = 0.65^2$$

Les coordonnées du centre du cercle sont:

P101 (1.45 , 2.8)

I = X101 - X7 = 1.45 - 1.2 = 0.25

J = Y101 - Y7 = 2.8 - 2.2 = 0.6

I = 0.25
J = 0.6

Arc du cercle du point P9 au point P9

I = 0.2
J = 0.0

Arc du cercle du point P10 au point P11

I = 0.4
J = 0.0

Arc du cercle du point P11 au point P12

I = 0.0
J = 0.3

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	4.0	-2.0	1.0
P1	-1.7	0.0	1.0
P1	-1.7	0.0	0.0
P2	0.0	0.0	0.0
P3	0.4	0.4	0.0
P4av	0.4	0.5594	0.0
P4ap	0.4128	0.6385	0.0
P5av	0.5728	1.1187	0.0

P5ap	0.6713	1.2477	0.0
P6	1.2	1.6	0.0
P7	1.2	2.2	0.0
P8	0.8	2.8	0.0
P9	0.6	3.0	0.0
P10	0.4	2.8	0.0
P11	0.0	2.4	0.0
P12	-0.3	2.7	0.0
P13	0.0	3.0	0.0
P13	0.0	3.0	1.0

Symétrie par rapport à l'axe Y des points P1 à P13.

Oo	4.0	-2.0	1.0

Répétition pour les 4 autres passes.

TABLEAU F3.5

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G60 *	Début de la filière des sous-programmes.
N20 G61 *	Début du sous-programme G61. Ce sous-programme permet d'exécuter une passe du côté droit de la pièce.
N30 G01 X-1.7 Y0.0 Z1.0 F400.0 *	Déplacement rapide au point P1.
N40 G01 Z0.0 F8.0 *	Descente en Z=-0.00 en avance programmée de 8.0 po/min.
N50 G42 X-1.69 M10 *	La broche est bridée avant le déplacement linéaire près du point P1 en avance programmée. Le déplacement s'effectue à la droite du point programmé.
N60 G08 X0.0 *	Déplacement linéaire au point P2 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N70 G03 X0.4 Y0.4 J0.4 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P3 en avance programmée et sans décélération à la fin du mouvement.
N80 G01 Y0.5594 *	Déplacement linéaire juste avant le point P4 en avance programmée.
N90 G09 G02 X0.4128 Y0.6385 I0.25 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire juste après le point P4 en avance programmée avec une décélération de la table à la fin du mouvement.
N100 G01 X0.5728 Y1.1187 *	Déplacement linéaire juste avant le point P5 en avance programmée ayant une décélération à la fin du mouvement.
N110 G02 X0.6713 Y1.2476 I0.2372 J0.0791 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire juste après le point P5 en avance programmée.

N120 G01 X1.2 Y1.6 *	Déplacement linéaire au point P6 en avance programmée.
N130 Y2.2 *	Déplacement linéaire au point P7 en avance programmée.
N140 G08 G02 X0.8 Y2.8 I0.25 J0.6 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P8 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N150 G03 G3602 X0.6 Y3.0 I0.2 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle au point P10 en avance programmée sans décélération à la fin du mouvement.
N160 G02 X0.0 Y2.4 I0.4 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P11 en avance programmée.
N170 G09 G3602 X-0.3 Y2.7 J0.3 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle au point P13 en avance programmée avec une décélération de la table à la fin du mouvement.
N180 M11 *	La broche est débridée.
N190 G01 Z1.0 F400.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N200 G40 *	Programmation du centre de l'outil.
N210 G62 *	Fin du sous-programme G61 et début du sous-programme G62. Le sous-programme G62 permet d'exécuter une passe des 2 côtés de la pièce.
N220 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N230 G30 X *	Image miroir par rapport à l'axe Y.
N240 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N250 G31 *	Annulation de l'image miroir.
N260 X4.0 Y-2.0 *	Déplacement rapide au point Oo.

N270 G60 *	Fin de la filière des sous-programmes et début du programme principal.
N280 G17 G70 G90 *	Sélection du plan X-Y, programmation en pouces et en coordonnées absolues.
N290 G92 X4.0 Y-2.0 Z1.0 *	L'outil se trouve au point Oo (4.0,-2.0,1.0).
N300 M03 S1900 T01 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1900 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et le fluide de coupe est vaporisé.
N310 G6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N320 M01 *	Arrêt facultatif du programme, de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe, si le commutateur "OP STOP" est actif.
N330 M03 S1900 T02 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1900 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 2 et le fluide de coupe est vaporisé.
N340 G6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N350 M01 *	Arrêt facultatif du programme, de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.
N360 M03 S1900 T03 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1900 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 3 et le fluide de coupe est vaporisé.
N370 G6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N380 M01 *	Arrêt facultatif du programme, de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

N390 M03 S1900 T04 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1900 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 4 et le fluide de coupe est vaporisé.
N400 G6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N410 M01 *	Arrêt facultatif du programme, de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.
N420 M03 S1900 T05 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1900 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 5 et le fluide de coupe est vaporisé.
N430 G6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N440 T00 *	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire de longueur et de diamètre nuls.
N450 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer la pièce usinée par une pièce brute sur la table de la fraiseuse et peser "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

FIGURE F3.6

PROJET DE FRAISAGE NO 4

LA POCHE

Dossier complet

<u>INFORMATION 1</u> LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

<u>INFORMATION 2</u> LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 3</u> LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 4</u> LES PRÉCAUTIONS

Il faut installer une fixation sur la table de la fraiseuse, sinon l'outil usinera dans la table.

<u>INFORMATION 5</u> LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	95	Ébauche avec l'outil no 1.
2	105	Finition avec l'outil no 1.
3	20	Changement d'outil.
4	50	Centrage avec l'outil no 2.
5	20	Changement d'outil.
6	25	Perçage avec l'outil no 3.
7	20	Changement d'outil.
8	35	Alésage avec l'outil no 4.

9	20	Changement d'outil.
10	80	Changement de pièce.

TABLEAU F4.3

Un temps total de 470 secondes ou 7 minutes et 50 secondes est requis pour usiner une pièce.

<u>INFORMATION 6</u> LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 7</u> LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 8 LE SCHÉMA DES OUTILS

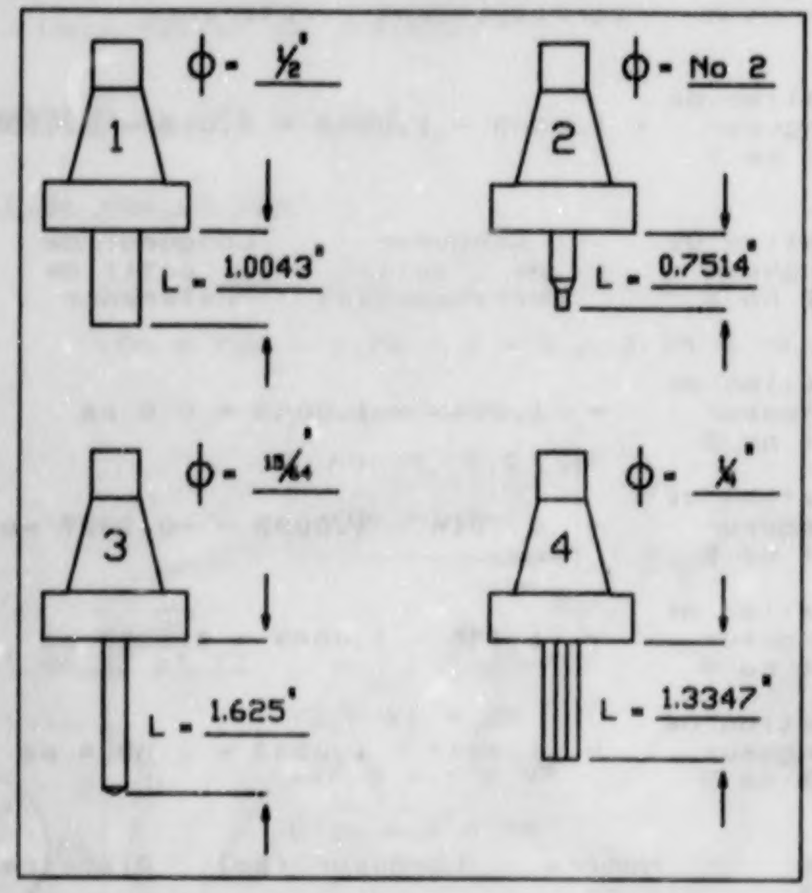


FIGURE F4.7

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation du diamètre d'outil no X (ébauche)	=	Diamètre de l'outil correspondant + 2 surépaisseurs
Compensation du diamètre d'outil no 1 (ébauche)	=	0.5 + 2 * 0.015 = 0.53 po

Compensation de la longueur d'outil no X	=	Longueur de l'outil correspondant	-	Longueur de l'outil de référence	+	surépaisseur

Compensation de la longueur d'outil no 1 = 1.0043 - 1.0043 + 0.015 = 0.015 po

Compensation de la longueur d'outil no X = Longueur de l'outil correspondant - Longueur de l'outil de référence

Compensation de la longueur d'outil no 2 = 1.0043 - 1.0043 = 0.0 po

Compensation de la longueur d'outil no 3 = 0.7514 - 1.0043 = -0.2529 po

Compensation de la longueur d'outil no 4 = 1.625 - 1.0043 = 0.6207 po

Compensation de la longueur d'outil no 5 = 1.3347 - 1.0043 = 0.3304 po

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (po)	Diamètre (po)
1	1	+0.0150	0.5300
2	1	0.0000	0.5000
3	2	-0.2529	0.1875 *
4	3	+0.6207	0.2656 *
5	4	+0.3304	0.2813 *

TABLEAU F4.4

* Ces valeurs de diamètre peuvent être omises, puisque la programmation tient compte du centre de l'outil.

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

Calcul de XOo et YOo

XOo = XOp - 0.5 - 3 = 0 - 3.5 = -3.5

YOo = YOp - 0.25 - 2 = 0 - 2.25 = -2.25

XOo = -3.5
YOo = -2.25

Calcul de X2 et Y2

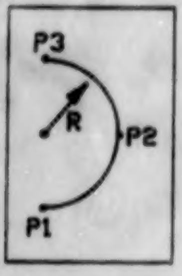


FIGURE F4.8

Y3 - Y1 = 2R

1.5 - 0.4 = 2R

D'où R = 0.55

X2 = X1 + R = 1.0 + 0.55 = 1.55

Y2 = Y1 + R = 0.4 + 0.55 = 0.95

X2 = 1.55
Y2 = 0.95

Calcul de X4 et Y4

X4 = XOp = 0

Y4 = YOp + 1.5 = 0 + 1.5 = 1.5

X4 = 0.0
Y4 = 1.5

Calcul de X5 et Y5

X5 = XOp = 0
Y5 = YOp = 0

Calcul de X6 et Y6

X6 = XOp + 2.0 = 0 + 2.0 = 2.0

Y6 = YOp = 0

X6 = 2.0
Y6 = 0.0

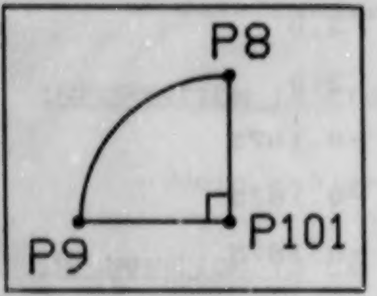
Calcul de X7 et Y7

X7 = XOp + 2.0 = 0 + 2.0 = 2.0

Y7 = YOp + 1.5 = 0 + 1.5 = 1.5

X7 = 2.0
Y7 = 1.5

Calcul de Y9



Y8 - Y101 = X101 - X9

1.5 - Y101 = 1.0 - 0.45

Y101 = Y9 = 0.95

Y9 = 0.95

FIGURE F4.9

X10 = X9 = 0.45
Y11 = Y10 = 0.625
X12 = X11 = 1.375
Y13 = Y12 = 0.875

Calcul de X14 et Y14

$$X14 = \frac{2}{2} = 1 \text{ po}$$

$$Y14 = \frac{1.5}{2} = 0.75 \text{ po}$$

X14 = 1.0
Y14 = 0.75

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	-3.5	-2.25	2.0
P1	1.0	0.4	2.0
P1	1.0	0.4	-0.1875
P2	1.55	0.95	-0.1875
P3	1.0	1.5	-0.1875
P4	0.0	1.5	-0.1875
P5	0.0	0.0	-0.1875
P6	2.0	0.0	-0.1875
P7	2.0	1.5	-0.1875
P8	1.0	1.5	-0.1875
P9	0.45	0.95	-0.1875
P10	0.45	0.625	-0.1875
P11	1.375	0.625	-0.1875
P12	1.375	0.875	-0.1875
P13	1.125	0.875	-0.1875
P13	1.125	0.875	2.0
Oo	-3.5	-2.25	2.0
Répétition pour la finition.			
Oo	-3.5	-2.25	2.0
P14	1.0	0.75	2.0
P14	1.0	0.75	-0.3375
P14	1.0	0.75	2.0
Oo	-3.5	-2.25	2.0

Répétition pour le perçage.

Répétition pour l'alésage.

TABLEAU F4.5

<u>INFORMATION 13</u> LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 14</u> LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 15</u> LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

<u>INFORMATION 16</u> LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G60 *	Début de la filière des sous-programmes.
N20 G61 *	Début du sous-programme G61. Ce sous-programme permet d'exécuter une passe pour vider la poche.
N30 G41 M10 *	Compensation d'outil à gauche du point programmé et bridage de la broche.
N40 G08 G03 G3602 X1.55 Y0.95 J0.55 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle à la gauche du point P3 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N50 G43 G09 G01 X0.0 *	Déplacement linéaire avec anticipation du coin intérieur près du point P4 en avance programmée avec une décélération de la table à la fin du mouvement.
N60 Y0.0 *	Déplacement linéaire avec anticipation du coin intérieur près du point P5 en avance programmée avec une décélération à la fin du mouvement.

N70 X2.0 *	Déplacement linéaire avec anticipation du coin intérieur près du point P6 en avance programmée.
N80 Y1.5 *	Déplacement linéaire avec anticipation du coin intérieur près du point P7 en avance programmée.
N90 G44 G08 X1.0 *	Déplacement linéaire sans anticipation du coin intérieur au point P8 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N100 G09 G03 X0.45 Y0.95 J0.55 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P9 en avance programmée avec décélération de la table à la fin du mouvement.
N110 G01 *	Le mode de déplacement est linéaire.
N120 G40 *	Aucune compensation d'outil.
N130 Y0.625 *	Déplacement linéaire au point P10 en avance programmée.
N140 X1.375 *	Déplacement linéaire au point P11 en avance programmée.
N150 Y0.875 *	Déplacement linéaire au point P12 en avance programmée.
N160 X1.125 M11 *	La broche est débridée après un déplacement linéaire au point P13 en avance programmée.
N170 G01 Z2.0 F400.0 *	Remontée rapide en Z=2.0.
N180 G60 *	Fin de la filière des sous-programmes.
N190 G17 G70 G90 *	Sélection du plan X-Y, programmation en pouces et en coordonnées absolues.
N200 G92 X-3.5 Y-2.25 Z2.0 *	L'outil se trouve au point Oo (-3.5,-2.25,2.0).
N210 G01 X1.0 Y0.4 F400.0 *	Déplacement rapide au point P1.

N220 M03 S1500 T01 M07 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1500 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et le fluide de coupe est vaporisé.
N230 G01 Z-0.1875 F9.0 *	Descente en Z=-0.1875 en avance programmée de 9.0 po/min.
N240 G6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N250 S1900 T02 *	La broche tourne à 1900 RPM et le DCN utilise la compensation d'outil no 2.
N260 X1.0 Y0.4 *	Déplacement rapide au point P1.
N270 G01 Z-0.1875 F7.5 *	Descente en Z=-0.1875 en avance programmée de 7.5 po/min.
N280 G6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N290 X-3.5 Y-2.25 *	Déplacement rapide au point Oo.
N300 G28 *	Possibilité d'omission de blocs. Si l'opérateur désire annuler les opérations de centrage, perçage et alésage, il doit écrire le code G28 à cette ligne. S'il désire exécuter ces opérations, il doit effacer cette ligne. Les blocs 310 à 570 ne seront pas considérés par le DCN si le code G28 apparaît à cette ligne et à la ligne 570.
N310 / M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 1 (la fraise) par l'outil no 2 (le foret à centrer) et peser sur "START".

N320 / M03 S4200 T03 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 4200 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 3 et le fluide de coupe se met à couler.

N330 / G26 *	L'approche unidirectionnelle est activée.
N340 / X1.0 Y0.75 *	Déplacement rapide au point P14.
N350 / G26 *	L'approche unidirectionnelle est désactivée.
N360 / G81 Z-0.3875 R-0.1375 F4.0 *	Un trou est centré jusqu'au niveau Z=-0.3875 en avance programmée de 4.0 po/min et l'outil remonte rapidement jusqu'au niveau Z=-0.1375.
N370 / G80 *	Le cycle de perçage est annulé.
N380 / Z2.0 *	Remontée rapide en Z=2.0.
N390 / X-3.5 Y-2.25 *	Déplacement rapide au point Oo.
N400 / M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 2 (le foret à centrer) par l'outil no 3 (le foret à percer) et peser sur "START".

N410 / M03 S2500 T04 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 2500 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 4 et le fluide de coupe se met à couler.
N420 / G26 *	L'approche unidirectionnelle est activée.
N430 / X1.0 Y0.75 *	Déplacement rapide au point P14.
N440 / G26 *	L'approche unidirectionnelle est désactivée.
N450 / G81 Z-0.65 R-0.1375 F14.0 *	Un trou est percé jusqu'au niveau Z=-0.65 en avance programmée de 12.5 po/min et l'outil remonte rapidement jusqu'au niveau Z=-0.1375.
N460 / G80 *	Le cycle de perçage est annulé.
N470 / Z2.0 *	Remontée rapide en Z=2.0.

N480 / X-3.5 Y-2.25 *	Déplacement rapide au point Oo.
N490 / M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 3 (le foret à percer) par l'outil no 4 (l'alésoir) et peser sur "START".

N500 / M03 S2700 T05 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 2700 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 5 et le fluide de coupe se met à couler.
N510 / G26 *	L'approche unidirectionnelle est activée.
N520 / X1.0 Y0.75 *	Déplacement rapide au point P14.
N530 / G26 *	L'approche unidirectionnelle est désactivée.
N540 / G89 Z-0.55 R-0.1375 F15.0 D5.0 *	Un trou est alésé jusqu'au niveau Z=-0.575 en avance programmée de 13.0 po/min, l'outil tourne sur place pendant 5 secondes et il remonte en avance programmée jusqu'au niveau Z=-0.1375.
N550 / G80 *	Le cycle de perçage est annulé.
N560 / Z2.0 *	Remontée rapide en Z=2.0.
N570 / X-3.5 Y-2.25 *	Déplacement rapide au point Oo.
N580 G28 *	Fin de la possibilité d'omission de blocs. Si l'opérateur désire annuler les opérations de centrage, perçage et alésage, il doit écrire le code G28 à cette ligne. S'il désire exécuter ces opérations, il doit effacer cette ligne. Les blocs 310 à 570 ne seront pas considérés par le DCN, si le code G28 apparaît à cette ligne et à la ligne 300.
N590 T00 *	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire de longueur et de diamètre nuls.

N600 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 4 (l'alésoir) par l'outil no 1 (la fraise), remplacer la pièce usinée par une pièce brute sur la table de la fraiseuse et peser "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

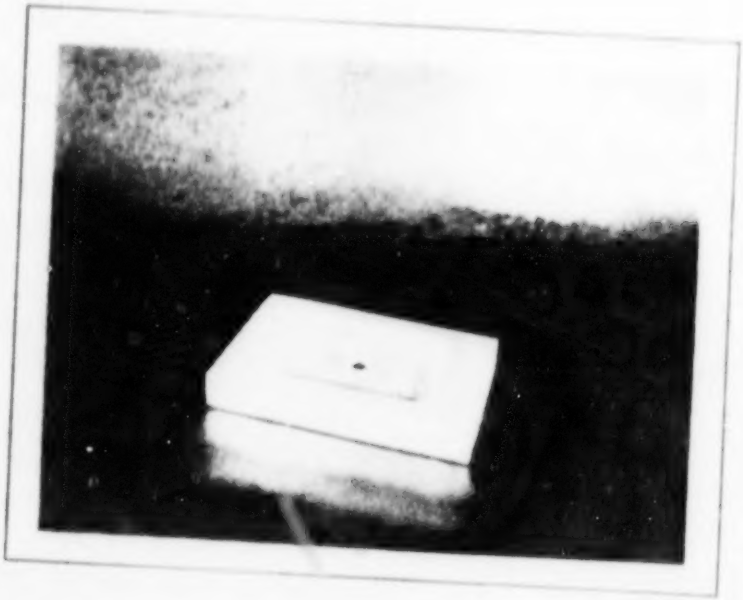


FIGURE F4.10

PROJET DE FRAISAGE NO 5

LE PERÇAGE

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

Il faut que la partie supérieure de la pièce soit au même niveau ou au-dessus de la partie supérieure des mâchoires de l'étau.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	255	Perçage avec l'outil no 1.
2	20	Changement de pièce.

TABLEAU F5.3

Un temps total de 275 secondes ou 4 minutes et 35 secondes est requis pour usiner une pièce.

Temps d'usinage approximatif

Temps des déplacements en avance rapide

Distance parcourue en avance rapide

- du point Oo (-3 , -3) au point P1 (2 , 3.5)

  $d1 = \sqrt{(-3 - 2)^2 + (-3 - 3.5)^2} = 8.2$ po

- 19 remontées de 0.65 po

  $d2 = 19 * 0.65 = 12.35$ po

- 1 remontée de 1.6 po

  $d3 = 1 * 1.6 = 1.6$ po

- 20 déplacements horizontaux de 1.0 po

  $d4 = 20 * 1.0 = 20.0$ po

- du point (2 , -1/2) au point Oo (-3, -3)

  $d5 = \sqrt{(2 - 3)^2 + (-1/2 - 3)^2} = 5.59$ po

Distance totale = d1 + d2 + d3 + d4 + d5

= 8.2 + 12.35 + 1.6 + 20.0 + 5.59

= 47.74 po

Vitesse de la MO = 200 po/min environ

$$\text{Temps} = \frac{\text{Distance}}{\text{Vitesse}} = \frac{47.74 \text{ po}}{200 \text{ po/min}} = 0.24 \text{ minute}$$

Temps = 15 secondes

Temps des déplacements en avance programmée

Distance parcourue en avance de 6.0 po/min.

- 19 descentes de 0.65 po

  d1 = 19 * 0.65 = 12.35 po

- 1 descente de 1.6 po

  d2 = 1.6 po

Distance totale = d1 + d2 = 12.35 + 1.6 = 13.95

Vitesse de la MO = 6.0 po/min

$$\text{Temps} = \frac{\text{Distance}}{\text{Vitesse}} = \frac{13.95 \text{ po}}{6.0 \text{ po/min}} = 2.33 \text{ minutes}$$

Temps = 140 secondes

Temps des temporisations

- 20 temporisations de 3 secondes

  20 * 3 = 60 secondes

Temps = 60 secondes

Temps du départ de la rotation de la broche et des délais de réaction des constituants

Temps = 30 secondes

Temps du changement de pièce

Temps = 20 secondes

Temps d'usinage total

15 + 140 + 60 + 30 + 20 = 265 secondes

Temps total = 265 secondes

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (po)	Diamètre (po)
1	1	0.0000	0.2500 *

TABLEAU F5.4

* La valeur du diamètre peut être omise, puisque la programmation tient compte du centre de l'outil.

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

```
X0o = X0p - 3.0 =  0  - 3.0 = -3.0 po
Y0o = Y0p - 3.0 =  0  - 3.0 = -3.0 po
X1  = X10 = X11 = X20 = 2.0 po
X2  = X1  + 1.0 = 2.0 + 1.0 = 3.0 po
X9  = X12 = X19 = X2  = 3.0 po
X3  = X2  + 1.0 = 3.0 + 1.0 = 4.0 po
X8  = X13 = X18 = X3  = 4.0 po
X4  = X3  + 1.0 = 4.0 + 1.0 = 5.0 po
X7  = X14 = X17 = X4  = 5.0 po
X5  = X4  + 1.0 = 5.0 + 1.0 = 6.0 po
X6  = X15 = X16 = X5  = 6.0 po
Y20 = Y19 = Y18 = Y17 = Y16 = 0.5 po
Y11 = Y20 + 1.0 = 0.5 + 1.0 = 1.5 po
Y12 = Y13 = Y14 = Y15 = Y11 = 1.5 po
Y10 = Y11 + 1.0 = 1.5 + 1.0 = 2.5 po
Y9  = Y8  = Y7  = Y6  = Y10 = 2.5 po
Y1  = Y10 + 1.0 = 2.5 + 1.0 = 3.5 po
Y2  = Y3  = Y4  = Y5  = Y1  = 3.5 po
```

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	-3.0	-3.0	1.0
P1	2.0	3.5	1.0
P1	2.0	3.5	-0.6

P1	2.0	3.5	0.05
P2	3.0	3.5	0.05
P2	3.0	3.5	-0.6
P2	3.0	3.5	0.05
P3	4.0	3.5	0.05
P3	4.0	3.5	-0.6
P3	4.0	3.5	0.05
P4	5.0	3.5	0.05
P4	5.0	3.5	-0.6
P4	5.0	3.5	0.05
P5	6.0	3.5	0.05
P5	6.0	3.5	-0.6
P5	6.0	3.5	0.05
P6	6.0	2.5	0.05
P6	6.0	2.5	-0.6
P6	6.0	2.5	0.05
P7	5.0	2.5	0.05
P7	5.0	2.5	-0.6
P7	5.0	2.5	0.05
P8	4.0	2.5	0.05
P8	4.0	2.5	-0.6
P8	4.0	2.5	0.05
P9	3.0	2.5	0.05
P9	3.0	2.5	-0.6
P9	3.0	2.5	0.05
P10	2.0	2.5	0.05
P10	2.0	2.5	-0.6

P10	2.0	2.5	0.05
P11	2.0	1.5	0.05
P11	2.0	1.5	-0.6
P11	2.0	1.5	0.05
P12	3.0	1.5	0.05
P12	3.0	1.5	-0.6
P12	3.0	1.5	0.05
P13	4.0	1.5	0.05
P13	4.0	1.5	-0.6
P13	4.0	1.5	0.05
P14	5.0	1.5	0.05
P14	5.0	1.5	-0.6
P14	5.0	1.5	0.05
P15	6.0	1.5	0.05
P15	6.0	1.5	-0.6
P15	6.0	1.5	0.05
P16	6.0	0.5	0.05
P16	6.0	0.5	-0.6
P16	6.0	0.5	0.05
P17	5.0	0.5	0.05
P17	5.0	0.5	-0.6
P17	5.0	0.5	0.05
P18	4.0	0.5	0.05
P18	4.0	0.5	-0.6
P18	4.0	0.5	0.05
P19	3.0	0.5	0.05
P19	3.0	0.5	-0.6

P19	3.0	0.5	0.05
P20	2.0	0.5	0.05
P20	2.0	0.5	-0.6
P20	2.0	0.5	0.05
Oo	-3.0	-3.0	1.0

TABLEAU F5.5

<u>INFORMATION 13</u> LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 14</u> LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 15</u> LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

<u>INFORMATION 16</u> LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G60 *	Début de la filière des sous-programmes.
N20 G61 *	Début du sous-programme G61. Ce sous-programme permet de percer un trou avec une temporisation de 3 secondes.
N30 G01 Z-0.65 F6.0 *	Descente en Z=-0.6 en avance programmée de 6.0 po/min.
N40 D3.0 *	L'outil tourne sur place pendant 3 secondes.

N50 G01 Z0.65 F400.0 *	Remontée rapide en Z=0.05.
N60 G62 *	Fin du sous-programme G61 et début du sous-programme G62. Le sous-programme G62 permet de déplacer l'outil de 1.0 po dans la direction +X et de percer un trou.
N70 X1.0 *	Déplacement rapide de 1.0 po dans la direction +X.
N80 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N90 G63 *	Fin du sous-programme G62 et début du sous-programme G63. Le sous-programme G63 permet de déplacer l'outil de 1.0 po dans la direction -X et de percer un trou.
N100 X-1.0 *	Déplacement rapide de 1.0 po dans la direction -X.
N110 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N120 G64 *	Fin du sous-programme G63 et début du sous-programme G64. Le sous-programme G64 permet de percer 10 trous sur 2 lignes et 5 colonnes.
N130 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N140 G-6204 *	Appel quadruple du sous-programme G62.
N150 Y-1.0 *	Déplacement rapide de 1.0 po dans la direction -Y.
N160 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N170 G-6304 *	Appel quadruple du sous-programme G63.
N180 Y-1.0 *	Déplacement rapide de 1.0 po dans la direction -Y.
N190 G60 *	Fin de la filière des sous-programmes.
N200 G70 G90 *	Programmation en pouces et en coordonnées absolues.

N210 G92 X-3.0 Y-3.0 Z1.0 *	L'outil se trouve au point Oo (-3.0,-3.0,1.0).
N220 G26 *	L'approche unidirectionnelle est activée.
N230 M03 S1200 M08 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1200 RPM et le fluide de coupe se met à couler.
N240 G01 X2.0 Y3.5 F400.0 *	Déplacement rapide au point P1.
N250 G01 Z0.05 F6.0 *	Descente en Z=0.05 en avance programmée de 6.0 po/min.
N260 G91 *	Programmation en coordonnées incrémentales.
N270 G6402 *	Appel double du sous-programme G64.
N280 G26 *	L'approche unidirectionnelle est désactivée.
N290 G90 *	Programmation en coordonnées absolues.
N300 Z1.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N310 X-3.0 Y-3.0 *	Déplacement rapide au point Oo.
N320 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer la pièce usinée par une pièce brute sur la table de la fraiseuse et peser "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

N.B. Nous ne pouvons pas ici utiliser le cycle de perçage puisque, avec les sous-programmes, il y aurait eu 21 trous de percés dont l'un serait en dehors de la plaque: l'outil interférerait alors avec l'étau.

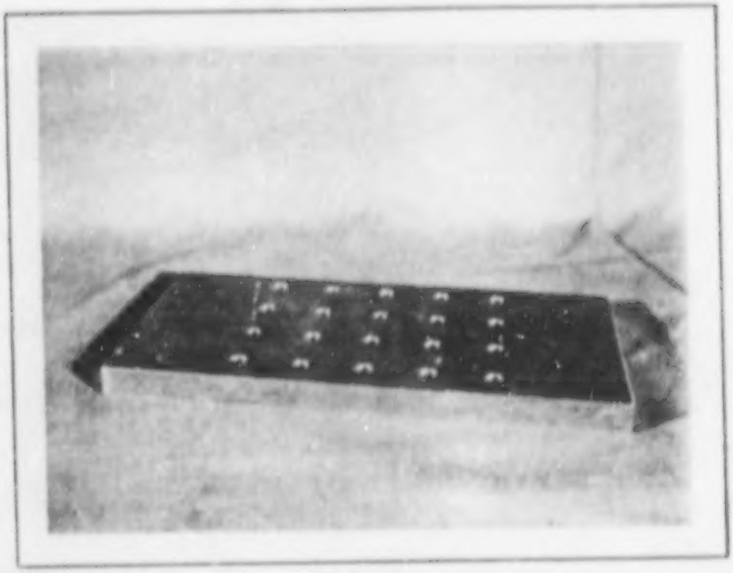


FIGURE F5.4

PROJET DE FRAISAGE NO 6

LE "S"

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

Notez bien la façon dont sont fixées les pièces à la fixation.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	1125	Fraisage des 3 pièces avec l'outil no 1.
2	20	Changement d'outil.
3	270	Ébauche des 3 pièces avec l'outil no 2.
4	20	Changement d'outil.
5	345	Finition des 3 pièces avec l'outil no 3.
6	20	Changement d'outil.

7	120	Changement des 3 pièces.

TABLEAU F6.3

Un temps total de 1920 secondes ou 32 minutes et 0 secondes est requis pour usiner 3 pièces en parallèle.

<u>Temps d'usinage comparatif</u>

La durée des étapes 2, 4 et 6 est la même, que l'on usine une ou 3 pièces. La durée des étapes 1, 3 et 5, nécessaires pour usiner une seule pièce, est approximativement 1/3 de la durée de ces mêmes étapes nécessaires pour usiner 3 pièces en parallèle. La durée de l'étape 7, nécessaire pour usiner une pièce, est approximativement 1/2 de la durée nécessaire pour usiner 3 pièces.

Étape	Temps (s)	Opération
1	375	Fraisage d'une pièce avec l'outil no 1.
2	20	Changement d'outil.
3	90	Ébauche d'une pièce avec l'outil no 2.
4	20	Changement d'outil.
5	115	Finition d'une pièce avec l'outil no 3.
6	20	Changement d'outil.
7	60	Changement d'une pièce.

TABLEAU F6.4

Un temps total de 700 secondes ou 11 minutes et 40 secondes est requis pour usiner une pièce.

Pour usiner 3 pièces, une après l'autre, le temps requis est le triple du temps requis pour usiner 1 pièce, soit de 2100 secondes. Nous pouvons constater qu'il est avantageux d'usiner 3 pièces à la fois, comme nous l'avons fait, plutôt que 3 pièces l'une après l'autre. Ici, une économie de 180 secondes (2100 - 1920 = 180) par 3 pièces ou de 60 secondes (180 / 3 = 60) par pièce est réalisée.

<u>INFORMATION 6</u> LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 7</u> LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 8</u> LE SCHÉMA DES OUTILS

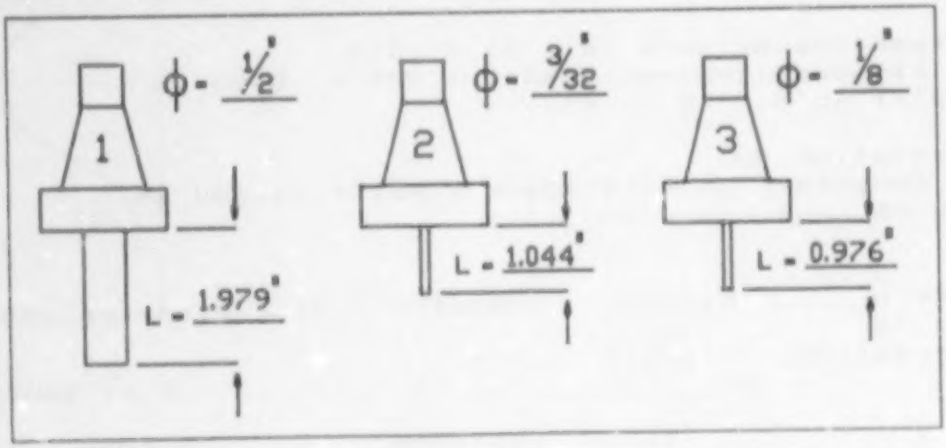


FIGURE F6.7

<u>INFORMATION 9</u> LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation du diamètre d'outil no X (ébauche) = Diamètre de l'outil correspondant + 2 surépaisseurs

Compensation du diamètre d'outil no 1 (ébauche)	= 0.5 + 2 * 0.015 = 0.53 po

Compensation de la longueur d'outil no X	=	Longueur de l'outil correspondant	−	Longueur de l'outil de référence	+	surépaisseur

Compensation de la longueur d'outil no 1	= 1.979 − 1.979 + 0.015 = 0.015 po

Compensation de la longueur d'outil no X	=	Longueur de l'outil correspondant	−	Longueur de l'outil de référence

Compensation de la longueur d'outil no 2	= 1.979 − 1.979 = 0.000 po
Compensation de la longueur d'outil no 3	= 1.044 − 1.979 = −0.92 po
Compensation de la longueur d'outil no 4	= 0.976 − 1.979 = −1.003 po

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (po)	Diamètre (po)
1	1	+0.1500	0.5300
2	1	0.0000	0.5000
3	2	−0.9200	0.0938 *
4	3	−1.0030	0.1250 *

TABLEAU F6.5

* Ces valeurs de diamètre peuvent être omises, puisque la programmation tient compte du centre de l'outil.

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

Calcul de XOo et YOo

XOo = XOp - 1.0 + 1.0 = 0.0

YOo = YOp - 2.0 - 3.0 = 0.0 - 5.0 = -5.0

XOo = 0.0
YOo = -5.0

P101 = (0 , 0) = origine fixée au centre de courbure inférieure du S.

P102 = point fixé au centre de courbure supérieure du S.

FIGURE F6.8

Calcul des points P13 à P20

Le rayon de courbure est de 0.75 po.

Calcul de X13 et Y13

X13 = X101 - Rayon = 0.0 - 0.75 = -0.75

Y13 = Y101 = 0.0

X13 = -0.75
Y13 = 0.0

Calcul de X14 et Y14

X14 = X101 = 0.0

Y14 = Y101 - Rayon = 0.0 - 0.75 = -0.75

X14 = 0.0
Y14 = -0.75

Calcul de X15 et Y15

X15 = X101 + Rayon = 0.0 + 0.75 = 0.75

Y15 = Y101 = 0.0

X15 = 0.75
Y15 = 0.0

Calcul de X16 et Y16

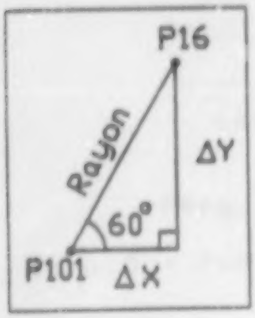


FIGURE F6.9

$COS\ 60° = \frac{\Delta x}{Rayon} = 0.5$

$\Delta x = 0.5 * 0.75 = 0.375$

$X16 = X101 + \Delta x = 0.0 + 0.375 = 0.375$

$SIN\ 60° = \frac{\Delta y}{Rayon} = 0.866$

$\Delta y = 0.866 * 0.75 = 0.6495$

$Y16 = Y101 + \Delta y = 0.0 + 0.6495 = 0.64$

X16 = 0.375
Y16 = 0.6495

Calcul de X17 et Y17

Par symétrie, X17 = -X16 = -0.375

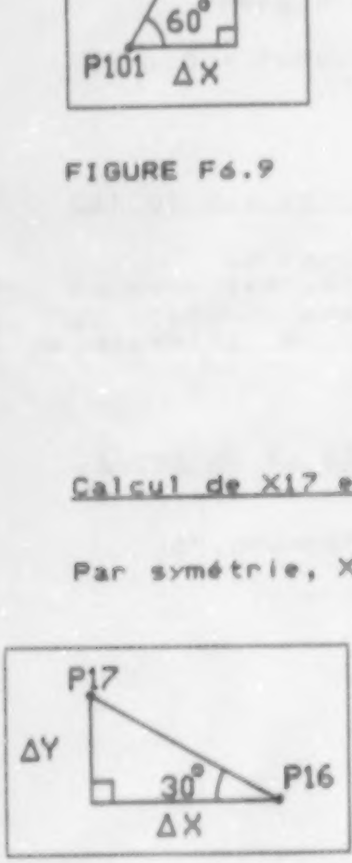


FIGURE F6.10

$\Delta x = X16 - X17 = .375 - (-.375) = 0.75$

$TAN\ 30° = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.5774$

$\Delta y = 0.5774 * 0.75 = 0.4330$

$Y17 = Y16 + \Delta y = .6495 + .4330 = 1.0825$

X17 = -0.375
Y17 = 1.0825

Calcul de X102 et Y102

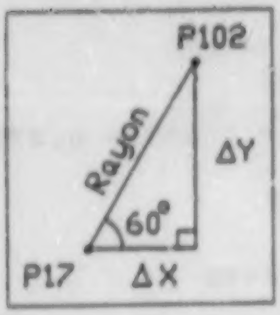


FIGURE F6.11

$$X102 = X101 = 0$$

$$SIN\ 60° = \frac{\Delta y}{Rayon} = 0.866$$

$$\Delta y = 0.866 * 0.75 = 0.6495$$

$$Y102 = Y17 + \Delta y = 1.0825 + 0.6495$$

$$= 1.7320$$

X102 =	0.0
Y102 =	1.7320

Calcul de X18 et Y18

$$X18 = X102 - Rayon = 0.0 - 0.75 = -0.75$$

$$Y18 = Y102 = 1.732$$

X18 =	-0.75
Y18 =	1.732

Calcul de X19 et Y19

$$X19 = X102 = 0.0$$

$$Y19 = Y102 + Rayon = 1.732 + 0.75 = 2.482$$

X19 =	0.0
Y19 =	2.482

Calcul de X20 et Y20

X20 = X102 + Rayon = 0.0 + 0.75 = 0.75

Y20 = Y102 = 1.732

X20 = 0.75
Y20 = 1.732

Calcul des points P2 à P11

Le rayon de courbure est de 0.9375, soit 15/16 po pour les points P2, P3, P4, P10 et P11. Le rayon de courbure est de 0.5625, soit 9/16 po pour les points P5, P6, P7 et P8.

Calcul de X2 et Y2

X2 = X101 = 0.0

Y2 = Y101 - Rayon = 0.0 - 0.9375 = -0.9375

X2 = 0.0
Y2 = -0.9375

Calcul de X3 et Y3

X3 = X101 + Rayon = 0.0 + 0.9375 = 0.9375

Y3 = Y101 = 0.0

X3 = 0.9375
Y3 = 0.0

Calcul de X4 et Y4

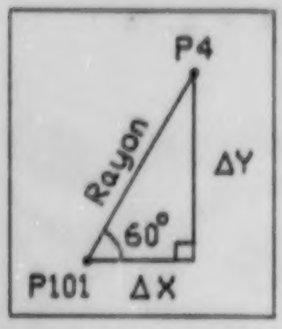


FIGURE F6.12

$$\text{COS } 60° = \frac{\Delta x}{\text{Rayon}} = 0.5$$

$$\Delta x = 0.5 * 0.9375 = 0.4688$$

$$X4 = X101 + \Delta x = 0.0 + 0.4688 = 0.4688$$

$$\text{SIN } 60° = \frac{\Delta y}{\text{Rayon}} = 0.866$$

$$\Delta y = 0.866 * 0.9375 = 0.8119$$

$$Y4 = Y101 + \Delta y = 0.0 + 0.8119 = 0.8119$$

X4 = 0.4688
Y4 = 0.8119

Calcul de X5 et Y5

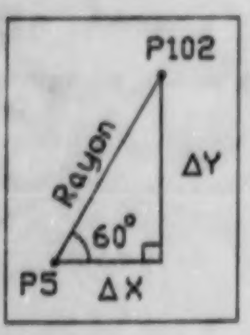


FIGURE F6.13

$$\text{COS } 60° = \frac{\Delta x}{\text{Rayon}} = 0.5$$

$$\Delta x = 0.5 * 0.5625 = 0.2813$$

$$X5 = X102 - \Delta x = 0.0 - 0.2813 = -0.2813$$

$$\text{SIN } 60° = \frac{\Delta y}{\text{Rayon}} = 0.866$$

$$\Delta y = 0.866 * 0.5625 = 0.4871$$

$$Y5 = Y102 - \Delta y = 1.732 - 0.4871 = 1.2449$$

X5 = -0.2813
Y5 = 1.2449

Calcul de X6 et Y6

X6 = X102 - Rayon = 0.0 - 0.5625 = -0.5625

Y6 = Y102 = 1.732

X6 = -0.5625
Y6 = 1.732

Calcul de X7 et Y7

X7 = X102 = 0.0

Y7 = Y102 + Rayon = 1.732 + 0.5625 = 2.2945

X7 = 0.0
Y7 = 2.2945

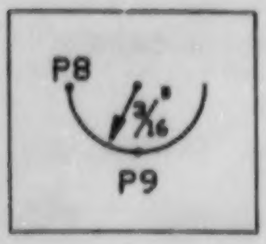
Calcul de X8 et Y8

X8 = X102 + Rayon = 0.0 + 0.5625 = 0.5625

Y8 = Y102 = 1.732

X8 = 0.5625
Y8 = 1.732

Calcul de X9 et Y9



X9 = X8 + 3/16 = 0.5625 + 0.1875 = 0.75

Y9 = Y8 - 3/16 = 1.732 - 0.1875 = 1.5445

FIGURE F6.14

X9 = 0.75
Y9 = 1.5445

Calcul de X10 et Y10

X10 = X102 + Rayon = 0.0 + 0.9375 = 0.9375

Y10 = Y102 = 1.732

X10 = 0.9375
Y10 = 1.732

Calcul de X11, Y11 et Y12

X11 = X102 = 0.0

Y11 = Y102 + Rayon = 1.732 + 0.9375 = 2.6695

Y12 = Y11 = 2.6695

X11 = 0.0
Y11 = Y12 = 2.6695

Calcul de XOp et YOp

Op est le point situé au centre du S. Il est important qu'il soit situé à cet endroit si l'on veut utiliser les axes de symétrie X et Y.

XOp = X101 = 0.0

$$YOp = \frac{Y101 + Y102}{2} = \frac{0.0 + 1.732}{2} = 0.866$$

XOp = 0.0
YOp = 0.866

Le point Op doit avoir les coordonnées (0 , 0). Pour ce faire, il faut soustraire 0.866 à la cote Y de chacun des points.

Ex.: Le point P17 de coordonnées (-0.375 , 1.0825) deviendra le point P17 de coordonnées (-0.375 , 0.2165).

1.0825 - 0.866 = 0.2165

Calcul des mots I et J

Arc de cercle du point P13 au point P14

I = 0.75
J = 0.0

Arc de cercle du point P15 au point P16

I = 0.75
J = 0.0

Arc de cercle <u>du point P17 au point P18</u>

Voir : Géométrie 4 Section 8.3.1 Figure 5.50

$R = 0.75 \qquad r = 0.125 \qquad \alpha = 30°$

$Ia = R \, SIN \, \alpha = 0.75 \, SIN \, 30° = 0.3750$

$Ja = R \, COS \, \alpha = 0.75 \, COS \, 30° = 0.6495$

I = 0.375
J = 0.6495

Arc de cercle <u>du point P18 au point P19</u>

I = 0.75
J = 0.0

Arc de cercle <u>du point P19 au point P20</u>

I = 0.0
J = 0.75

Arc de cercle <u>du point P2 au point P3</u>

I = 0.0
J = 0.9375

Arc de cercle <u>du point P3 au point P4</u>

I = 0.9375
J = 0.0

Arc de cercle <u>du point P5 au point P6</u>

Voir : Géométrie 4 Section 8.3.1 Figure 5.50

R = 0.5625 r = 0.5 α = 30°

Ia = R SINα = 0.5625 SIN 30° = 0.2813

Ja = R COSα = 0.5625 COS 30° = 0.4871

I = 0.2813
J = 0.4871

Arc de cercle <u>du point P6 au point P7</u>

I = 0.5625
J = 0.0

Arc de cercle <u>du point P8 au point P9</u>

I = 0.1875
J = 0.0

Arc de cercle <u>du point P10 au point P11</u>

I = 0.9375
J = 0.0

<u>INFORMATION 12</u> LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	0.0	-5.0	1.0
P1	-1.5	-1.8035	1.0
P1	-1.5	-1.8035	-0.125
P2	0.0	-1.8035	-0.125
P3	0.9375	-0.866	-0.125
P4	0.4688	-0.0541	-0.125
P5	-0.2813	0.3789	-0.125
P6	-0.5625	0.866	-0.125
P7	0.0	1.4285	-0.125
P8	0.5625	0.866	-0.125
P9	0.75	0.6785	-0.125
P10	0.9375	0.866	-0.125
P11	0.0	1.8035	-0.125
P12	-1.5	1.8035	-0.125
P12	-1.5	1.8035	1.0

Symétrie par rapport aux axes X et Y des points P1 à P12.

Répétition pour la finition.

Oo	0.0	-5.0	1.0

P13	-0.75	-0.866	1.0
P13	-0.75	-0.866	-0.125
P14	0.0	-1.616	-0.125
P15	0.75	-0.866	-0.125
P16	0.375	-0.2165	-0.125
P17	-0.375	0.2165	-0.125
P18	-0.75	0.866	-0.125
P19	0.0	1.616	-0.125
P20	0.75	0.866	-0.125
P20	0.75	0.866	1.0
Oo	0.0	-5.0	1.0

Répétition pour la finition.

TABLEAU F6.6

<u>INFORMATION 13</u> LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 14</u> LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 15</u> LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G60 *	Début de la filière des sous-programmes.
N20 G61 *	Début du sous-programme G61. Ce sous-programme permet d'exécuter une passe du côté extérieur droit d'un "S".
N30 G42 X-1.49 Y-1.8035 M10 *	La broche est bridée avant un déplacement linéaire à 1 mm du point P1 en avance programmée. Le déplacement s'effectue à la droite du point programmé.
N40 G08 X0.0 *	Déplacement linéaire à la droite du point P2 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N50 G03 X0.9375 Y-0.866 J0.9375 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire à la droite du point P3 en avance programmée sans décélération à la fin du mouvement.
N60 X0.4688 Y-0.0541 I0.9375 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire à la droite du point P4 en avance programmée.
N70 G01 X-0.2813 Y0.3789 *	Déplacement linéaire à la droite du point P5 en avance programmée.
N80 G02 X-0.5625 Y0.866 I0.2813 J0.4871 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire à la droite du point P6 en avance programmée.
N90 G3602 X0.0 Y1.4285 I0.5625 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle à la droite du point P8 en avance programmée.
N100 G03 G3602 X0.75 Y0.6785 I0.1875 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle à la droite du point P10 en avance programmée.

N110 X0.0 Y1.8035 I0.9375 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire à la droite du point P11 en avance programmée.
N120 G09 G01 X-1.5 M11 *	La broche est débridée après un déplacement linéaire au point P12 en avance programmée avec une décélération de la table à la fin du mouvement.
N130 G01 Z1.0 F400.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N140 G62 *	Fin du sous-programme G61 et début du sous-programme G62. Le sous-programme G62 permet d'exécuter une passe à l'intérieur d'un "S".
N150 G03 G[illegible]402 G08 X0.0 Y-1.616 I0.75 M10 *	La broche est bridée avant un déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle au point P15 en avance programmée sans décélération de la table à la fin du mouvement.
N160 X0.375 Y-0.2165 I0.75 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P16 en avance programmée.
N170 G01 X-0.375 Y0.2165 *	Déplacement linéaire au point P17 en avance programmée.
N180 G02 X-0.75 Y0.866 I0.375 J0.6495 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P18 en avance programmée.
N190 X0.0 Y1.616 I0.75 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P19 en avance programmée.
N200 G09 X0.75 Y0.866 J0.75 M11 *	La broche est débridée après un déplacement circulaire dans le sens horaire au point P20 en avance programmée avec une décélération de la table à la fin du mouvement.
N210 G01 Z1.0 F400.0 *	Remontée rapide en Z=1.0.
N220 X4.0 Y-5.0 *	Déplacement rapide au point Oo de la pièce suivante.

N230 G63 *	Fin du sous-programme G62 et début du sous-programme G63. Le sous-programme G63 permet le fraisage extérieur complet d'un "S".
N240 G92 X0.0 Y-5.0 Z1.0 *	L'outil se trouve au point Oo de la pièce à usiner.
N250 M03 S1500 M07 T01 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1500 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 1; le fluide de coupe est vaporisé.
N260 G01 X-1.5 Y-2.0685 F400.0 *	Déplacement rapide au point P1.
N270 G01 Z-0.125 F9.0 *	Descente en Z=-0.125 en avance programmée de 9.0 po/min.
N280 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N290 G40 *	Programmation du centre de l'outil.
N300 G30 X Y *	Image miroir par rapport aux axes X et Y.
N310 X-1.5 Y-2.0685 *	Déplacement rapide au point P1.
N320 G01 Z-0.125 F9.0 *	Descente en Z=-0.125 en avance programmée de 9.0 po/min.
N330 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N340 G40 *	Programmation du centre de l'outil.
N350 G31 *	Annulation de l'image miroir.
N360 S1900 T02 *	La broche tourne à 1900 RPM et le DCN utilise la compensation d'outil no 2.
N370 G01 X-1.5 Y-2.0535 *	Déplacement rapide au point P1.
N380 Z-0.125 F7.5 *	Descente en Z=-0.125 en avance programmée de 7.5 po/min.
N390 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.

Le "S"

N400 G40 *	Programmation du centre de l'outil.
N410 G30 X Y *	Image miroir par rapport aux axes X et Y.
N420 G01 X-1.5 Y-2.0535 *	Déplacement rapide au point P1.
N430 Z-0.125 F7.5 *	Descente en Z=-0.125 en avance rapide de 7.5 po/min.
N440 G-6101 *	Appel simple du sous-programme G61.
N450 G40 *	Programmation du centre de l'outil.
N460 G31 *	Annulation de l'image miroir.
N470 X4.0 Y-5.0 *	Déplacement rapide au point Oo de la pièce suivante.
N480 G64 *	Fin du sous-programme G63 et début du sous-programme G64. Le sous-programme G64 permet le fraisage de l'intérieur d'un "S" avec l'outil no 2.
N490 G92 X0.0 Y-5.0 Z1.0 *	L'outil se trouve au point Oo de la pièce à usiner.
N500 X-0.75 Y-0.866 *	Déplacement rapide au point P13.
N510 G01 Z-0.125 F6.0 *	Descente en Z=-0.125 en avance programmée de 6.0 po/min.
N520 G-6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N530 G65 *	Fin du sous-programme G64 et début du sous-programme G65. Le sous-programme G65 permet le fraisage de l'intérieur d'un "S" avec l'outil no 3.
N540 G92 X0.0 Y-5.0 Z1.0 *	L'outil se trouve au point Oo de la pièce à usiner.
N550 X-0.75 Y-0.866 *	Déplacement rapide au point P13.
N560 G01 Z-0.125 F4.5 *	Descente en Z=-0.125 en avance programmée de 4.5 po/min.

N570 G-6201 *	Appel simple du sous-programme G62.
N580 G60 *	Fin de la filière des sous-programmes.
N590 G17 G70 G90 *	Sélection du plan X-Y, programmation en pouces et en coordonnées absolues.
N600 G6303 *	Appel triple du sous-programme G63.
N610 X-8.0 *	Déplacement rapide au point Oo de la 1re pièce.
N620 M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 1 (la fraise ϕ=1/2) par l'outil no 2 (la fraise ϕ=3/32) et peser sur "START".

N630 M03 S4200 M07 T03 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 4200 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 3; le fluide de coupe est vaporisé.
N640 G6403 *	Appel triple du sous-programme G64.
N650 X-8.0 *	Déplacement rapide au point Oo de la 1re pièce.
N660 M00 *	Arrêt du programme, de la rotation de la broche et de la vaporisation du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 2 (la fraise ϕ=3/32) par l'outil no 3 (la fraise ϕ=1/8) et peser sur "START".

N670 M03 S4200 M07 T04 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 4200 RPM; le DCN utilise la compensation d'outil no 4; le fluide de coupe est vaporisé.

Le "S"

N680 G6503 *	Appel triple du sous-programme G65.
N690 X-8.0 *	Déplacement rapide au point Oo de la 1re pièce.
N700 T00 *	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire de longueur et de diamètre nuls.
N710 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

L'opérateur doit remplacer l'outil no 3 (la fraise ϕ=1/8) par l'outil no 1 (la fraise ϕ=1/2), remplacer les 3 pièces usinées par 3 pièces brutes sur la table de la fraiseuse et peser sur "START". L'usinage de ces nouvelles pièces est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

FIGURE Fs.15

PROJET DE FRAISAGE NO 7

LA CROIX

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

L'outil doit émerger d'au moins 2.0 po du porte-outil si l'on veut éviter qu'il y ait interférence entre le porte-outil et la pièce.

Pour exécuter les préparatifs, il faut que le haut de la pièce brute soit à 0.5 po au-dessus du haut des mâchoires de l'étau.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	525	Fraisage de la 1re rainure avec l'outil no 1.
2	20	Changement d'orientation de la pièce.
3	525	Fraisage de la 2e rainure avec l'outil no 1.
4	20	Changement de la pièce.

TABLEAU F7.3

Un temps total de 1090 secondes ou 18 minutes et 10 secondes est requis pour usiner une pièce.

<u>INFORMATION 6</u> LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 7</u> LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 9</u> LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Numéro de la compensation	Numéro de l'outil	Longueur (po)	Diamètre (po)
1	1	0.0000	0.5000 *

TABLEAU F7.4

* La valeur du diamètre peut être omise, puisque la programmation tient compte du centre de l'outil.

<u>INFORMATION 10</u> L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 11</u> LES CALCULS

<u>Calcul de X0o, Y0o et Z0o</u>

X0o = X0p + 6.0 = 0.0 + 6.0 = 6.0

Y0o = Y0p = 0.0

Z0o = Z0p + 1.0 = 0.0 + 1.0 = 1.0

XOo = 6.0

YOo = 0.0

ZOo = 1.0

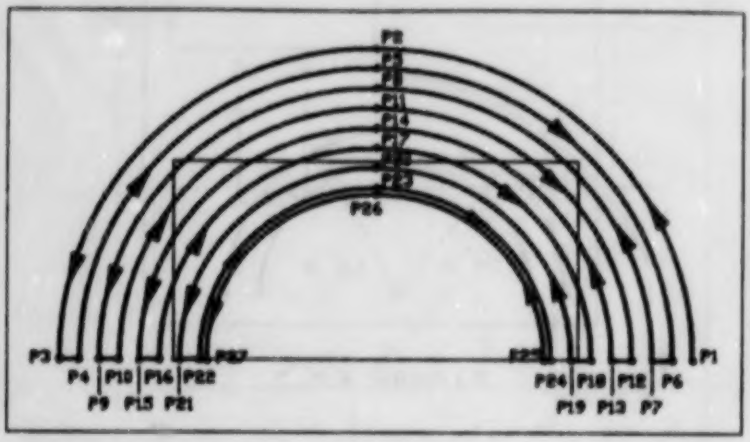


FIGURE F7.5

Rayon d'outil = 0.25 po

Rayon final de la pièce au centre = 1.0 po

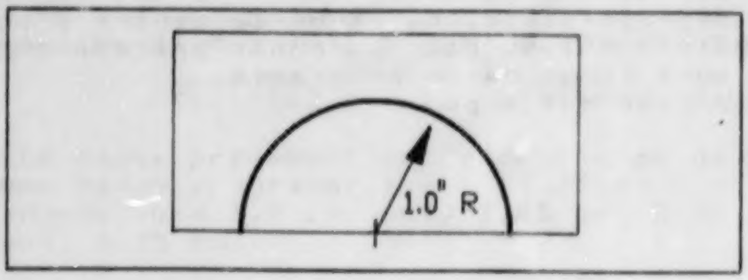


FIGURE F7.6

Par la programmation du centre de l'outil, pour avoir un rayon usiné de 1.0 po, il faut programmer un rayon du centre d'outil de 1.25 po.

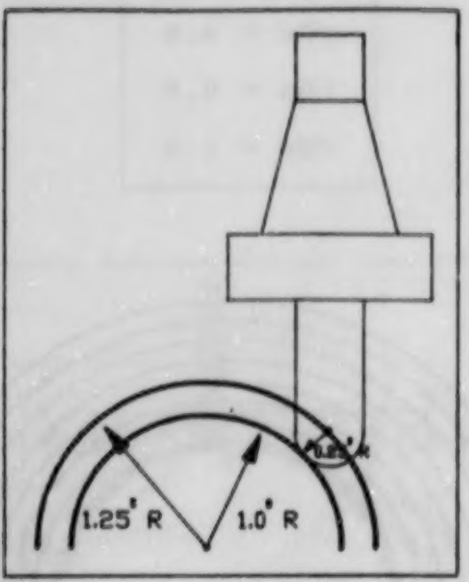


FIGURE F7.7

Puisque la passe de finition est de 50/1000 po, la dernière passe de dégrossissage sera usinée avec un rayon de 1.0 + 50/1000 = 1.05 po et il faudra programmer un rayon du centre d'outil de
1.25 + 50/1000 = 1.3 po.

Chaque passe de dégrossissage est de 150/1000 po. Il faut donc programmer pour l'avant dernière passe de dégrossissage, un rayon du centre d'outil de 1.3 + 150/1000 = 1.45 po. La passe précédant cette dernière aura comme rayon programmé
1.45 + 150/1000 = 1.6 po.

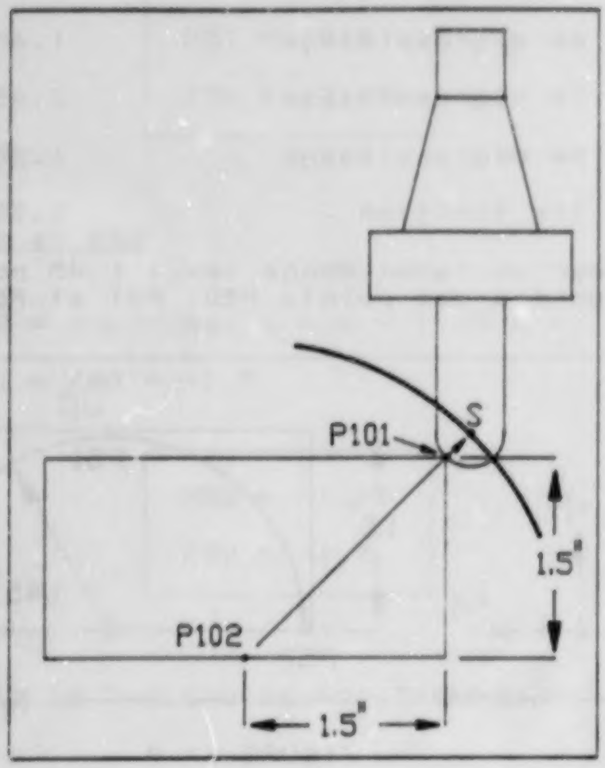


FIGURE 7.8

Le rayon maximal utile pour ébaucher la pièce brute est de:

$$R\ max = \sqrt{1.5^2 + 1.5^2} + 0.25 = 2.371$$

$$\overline{P101P102} + \overline{P101S}$$

La passe précédant celle de 1.6 po de rayon aura comme rayon programmé 1.6 + 150/1000 = 1.75 po. La précédente aura 1.9 po, puis 2.05 po, 2.20 po et, finalement, 2.35 po.

On a donc comme rayon du centre d'outil programmé:

1er dégrossissage	2.35 po
2e dégrossissage	2.20 po
3e dégrossissage	2.05 po
4e dégrossissage	1.90 po

5e dégrossissage	1.75 po
6e dégrossissage	1.60 po
7e dégrossissage	1.45 po
8e dégrossissage	1.30 po
1re finition	1.25 po

Pour un rayon donné (ex.: 1.45 po); trouvons les coordonnées des points P50, P51 et P52.

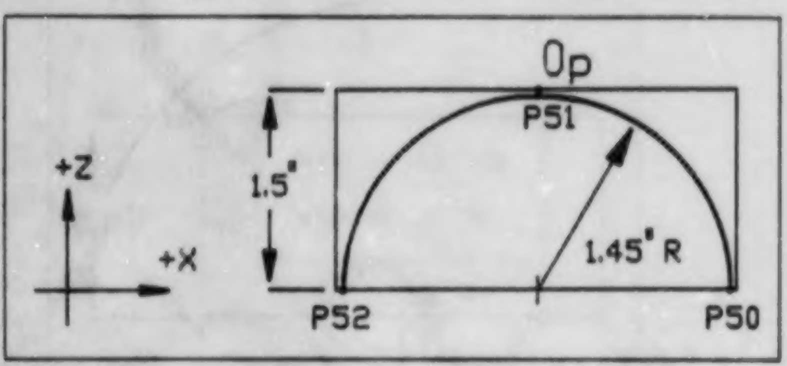


FIGURE F7.9

Calcul de X50 et Z50

X50 = X0p + Rayon = 0 + 1.45 = 1.45

Z50 = Z0p - 1.5 = 0 - 1.5 = -1.5

X50 = 1.45
Z50 = -1.5

Calcul de X51 et Z51

X51 = X0p = 0.0

Z51 = Z0p - 1.5 + Rayon = 0 - 1.5 + 1.45 = -0.05

X51 = 0.0
Z51 = -0.05

Calcul de X52 et Z52

X52 = XOp - Rayon = 0 - 1.45 = -1.45

Z52 = Z50 = -1.5

X52 = -1.45
Z52 = -1.5

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Y (po)	Z (po)
Oo	6.0	0.0	1.0
P1	2.35	0.0	-1.5
P2	0.0	0.0	0.85
P3	-2.35	0.0	-1.5
P4	-2.2	0.0	-1.5
P5	0.0	0.0	0.7
P6	2.2	0.0	-1.5
P7	2.05	0.0	-1.5
P8	0.0	0.0	0.55
P9	-2.05	0.0	-1.5
P10	-1.9	0.0	-1.5
P11	0.0	0.0	0.4

La croix

P12	1.9	0.0	-1.5
P13	1.75	0.0	-1.5
P14	0.0	0.0	0.25
P15	-1.75	0.0	-1.5
P16	-1.6	0.0	-1.5
P17	0.0	0.0	0.1
P18	1.6	0.0	-1.5
P19	1.45	0.0	-1.5
P20	0.0	0.0	-0.05
P21	-1.45	0.0	-1.5
P22	-1.3	0.0	-1.5
P23	0.0	0.0	-0.2
P24	1.3	0.0	-1.5
P18	1.6	0.0	-1.5 *
P25	1.25	0.0	-1.5
P26	0.0	0.0	-0.25
P27	-1.25	0.0	-1.5
P28	-2.0	0.0	-1.5
P29	-2.0	0.0	1.0
Oo	6.0	0.0	1.0

TABLEAU F7.5

* Le retour au point P18 avant de passer au point P25 permet d'éviter que l'outil ne s'échauffe en restant sur place, appuyé sur la pièce lors du changement de vitesse; cela permet aussi d'usiner complètement la rainure au niveau Z=-1.5 po. Les points P28 et P29 permettent le retour au point Oo sans collision avec la pièce usinée.

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
N10 G18 G70 G90 *	Sélection du plan Z-X, programmation en pouces et en coordonnées absolues.
N20 G92 X6.0 Y0.0 Z1.0 *	Le centre de l'outil se trouve au point Oo.
N30 M03 S1500 M07 *	La broche se met à tourner dans le sens horaire à 1500 RPM et le fluide de coupe est vaporisé.
N40 G01 X2.35 Z-1.5 F400.0 *	Déplacement rapide au point P1.
N50 G02 G3602 X0.0 Z0.85 I2.35 F6.0 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle au point P3 en avance programmée de 6.0 po/min.
N60 G01 X-2.2 *	Déplacement linéaire au point P4 en avance programmée.
N70 G03 G3602 X0.0 Z0.7 I2.2 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle au point P6 en avance programmée.
N80 G01 X2.05 *	Déplacement linéaire au point P7 en avance programmée.

N90 G02 G3602 X0.0 Z0.55 I2.05 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle au point P9 en avance programmée.
N100 G01 X-1.9 *	Déplacement linéaire au point P10 en avance programmée.
N110 G03 G3602 X0.0 Z0.4 I1.9 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle au point P12 en avance programmée.
N120 G01 X1.75 *	Déplacement linéaire au point P13 en avance programmée.
N130 G02 G3602 X0.0 Z0.25 I1.75 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle au point P15 en avance programmée.
N140 G01 X-1.6 *	Déplacement linéaire au point P16 en avance programmée.
N150 G03 G3602 X0.0 Z0.1 I1.6 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle au point P18 en avance programmée.
N160 G01 X1.45 *	Déplacement linéaire au point P19 en avance programmée.
N170 G02 G3602 X0.0 Z-0.05 I1.45 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle au point P21 en avance programmée.
N180 G01 X-1.3 *	Déplacement linéaire au point P22 en avance programmée.
N190 G03 G3602 X0.0 Z-0.2 I1.3 *	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire en demi-cercle au point P24 en avance programmée.
N200 G01 X1.6 *	Déplacement linéaire au point P18.
N210 S1900 F5.0 *	Rotation de la broche à 1900 RPM et avance programmée de 5.0 po/min.
N220 X1.25 *	Déplacement linéaire au point P25 en avance programmée.
N230 G02 G3602 X0.0 Z-0.25 I1.25 *	Déplacement circulaire dans le sens horaire en demi-cercle au point P27 en avance programmée.
N240 G01 X-2.0 *	Déplacement linéaire au point P28 en avance programmée.

N250 Z1.0 F400.0 *	Remontée rapide au point P29.
N260 X6.0 *	Déplacement rapide au point Oo.
N270 M30 *	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche et de la coulée du fluide de coupe.

L'opérateur doit tourner la pièce n'ayant qu'une seule rainure sur la table de la fraiseuse pour usiner la 2e rainure et peser sur "START". L'usinage de la 2e rainure est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

(OU)

L'opérateur doit remplacer la pièce ayant 2 rainures par une pièce brute sur la table de la fraiseuse et peser sur "START". L'usinage de la nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

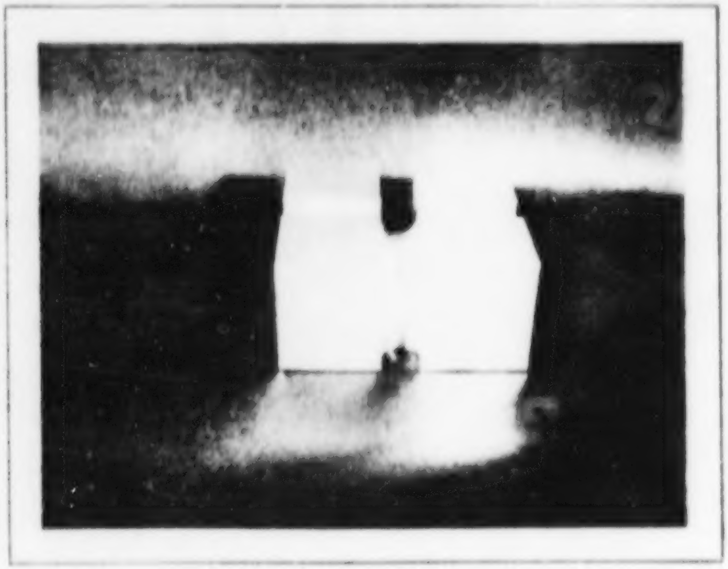


FIGURE F7.10

ANNEXE H

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

PROJET DE TOURNAGE NO 1

LES RAINURES

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

(Date)	(Nom du programmeur)
(Nom et no du programme)	
(Nom et no de la pièce)	
(Lieu)	
(MOCN utilisée)	

INFORMATION 2 LE PLAN

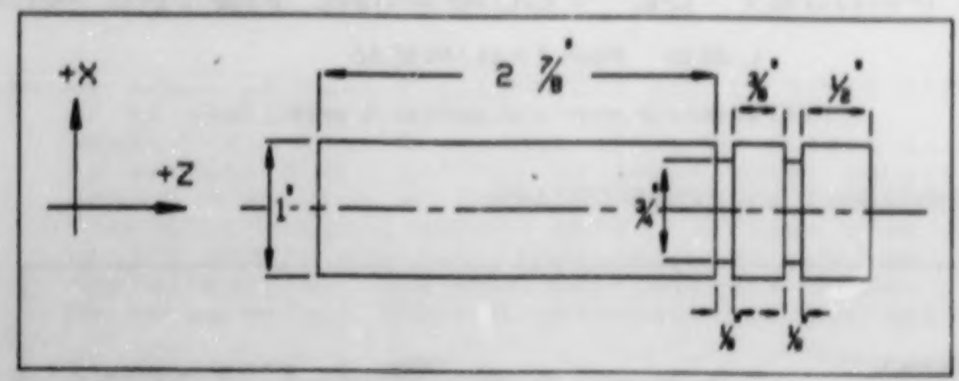


FIGURE T1.6

Matériau: Aluminium 1060, roulé à froid, 60 BHN.

Dimensions brutes: Barre de 1" de diamètre
par 4" de long.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- L'unité de mesure est le pouce.
- L'outil commence et termine son trajet à l'origine outil (Oo).
- L'avance est programmée en po/tour.
- La vitesse périphérique est constante par rapport à la surface.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	35	Tronçonnage avec l'outil no 1.
2	10	Changement de pièce.

TABLEAU T1.3

Un temps total de 45 secondes est requis pour usiner une pièce.

N.B. Le temps calculé précédemment est le temps requis si le commutateur d'omission de blocs est désactivé. Pour l'usinage d'une 2e pièce, si ce dernier était activé, le temps total serait réduit d'environ 10 secondes, puisque le retour à l'origine machine serait omis. Il faut bien se rendre compte que les temps calculés ici sont approximatifs. Une MOCN peut prendre un peu plus de temps qu'une autre à effectuer une opération.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

Outil no 1 Outil à saigner, carbure (C7), 1/8" de largeur

N.B. La largeur d'un outil à saigner n'est pas toujours de 0.125 po. Si l'outil est plus large ou moins large que 0.125 po, nous n'aurons pas d'autre possibilité que d'exécuter une rainure de plus ou de moins que 0.125 po.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

Outil	Avance (po/tour)	Vitesse périphérique (pi/min)
1	0.002	500

TABLEAU T1.4

- Aucun fluide de coupe n'est utilisé.

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Numéro de compensation	Numéro d'outil	Cote X (po)	Cote Z (po)	Rayon (po)	Facteur de position
1	1	0.0	0.0	0.0	0

TABLEAU T1.5

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

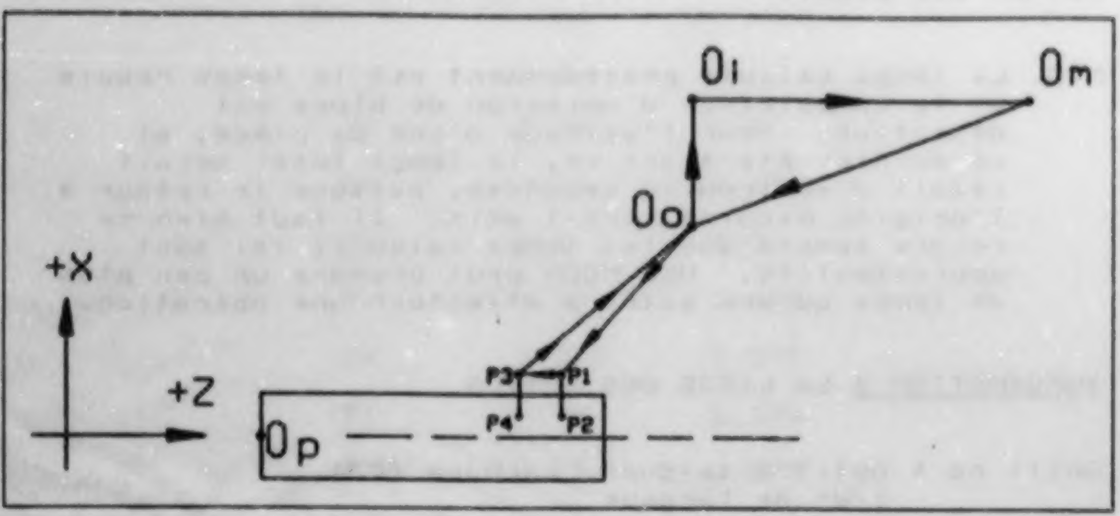


FIGURE T1.7

1 - Usinage de la 1re rainure.

2 - Usinage de la 2e rainure.

INFORMATION 11 LES CALCULS

ZOi = ZOo = 5.0

XOm = XOi = 7.75

Z1 = 4.0 - 0.5 - 0.125 = 3.375 *

X2 = D/2 = 0.75/2 = 0.375

Z2 = Z1 = 3.375

Z3 = Z1 - 0.375 - 0.125 = 3.375 - 0.5 = 2.875 *

X4 = X2 = 0.375

Z4 = Z3 = 2.875

* Voir le plan détaillé

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Z (po)
Oo	3.0	5.0
Oi	7.75	5.0
Om	7.75	18.879
Oo	3.0	5.0
P1	0.75	3.375
P2	0.375	3.375
P1	0.75	3.375
P3	0.75	2.875
P4	0.375	2.875
P3	0.75	2.875
Oo	3.0	5.0

TABLEAU T1.6

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'auront pas les mêmes valeurs que les nôtres.

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

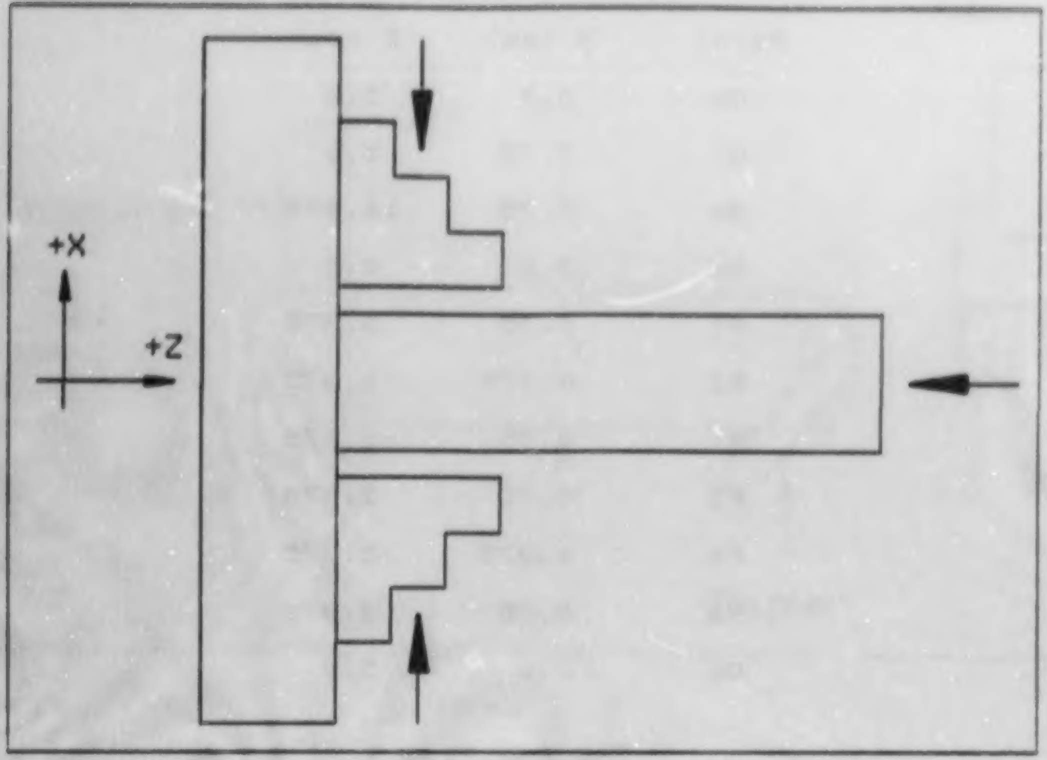


FIGURE T1.8

La pièce est emprisonnée dans le mandrin à l'une de ses extrémités.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

L'opérateur installe la pièce brute dans le mandrin, appuyée au fond de ce dernier. Il installe l'outil no 1 dans le porte-outil no 1. Il déplace la tourelle à l'origine machine et lit la cote Z en cet endroit.

Il tient un morceau de papier au bout de la pièce brute et place l'outil à la droite de cette pièce. Il approche lentement l'outil de la pièce, c'est-à-dire dans la direction -Z jusqu'à ce que le papier soit coincé entre la pièce et l'outil.

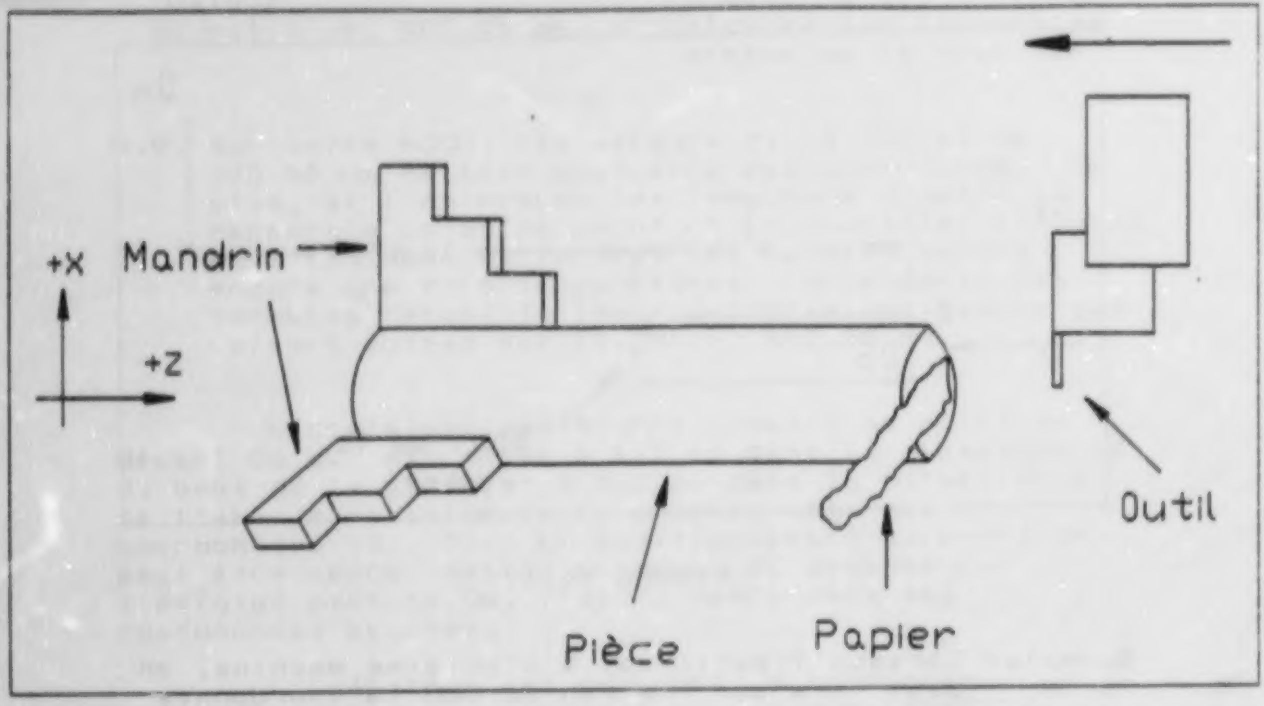


FIGURE T1.9

ATTENTION! le morceau de papier doit être assez long (au moins 6 po) pour que l'opérateur ne risque pas de se faire écraser les doigts.

Il lit alors la cote Z à cet endroit. La différence entre la cote Z de l'origine machine et celle du bout de la pièce brute est une valeur qui servira à identifier la distance entre l'origine programme Op et l'origine machine Om.

Puisque, dans ce cas-ci, l'origine programme Op est située à 4.0 po à la gauche du bout de la pièce brute, il faut inscrire au mot Z du bloc G50... du programme pièce, la valeur de (4.0 + Cote Z affichée lorsque l'outil est à Om - Cote Z affichée lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce).

ATTENTION! cette valeur du mot Z du bloc G50... peut varier d'une MOCN à l'autre et d'un essai à l'autre si les pièces brutes ne sont pas positionnées exactement au même endroit dans le mandrin.

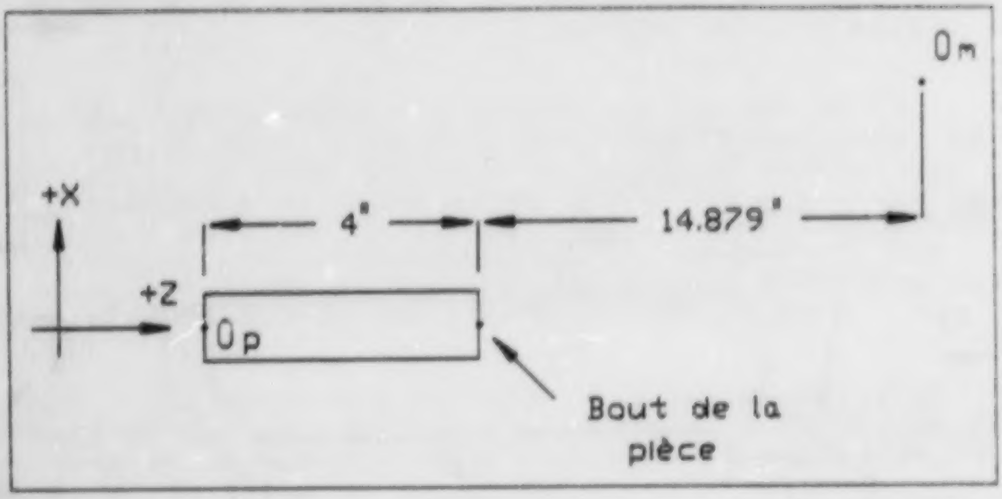


FIGURE T1.10

Exemple: Lorsque l'outil est à l'origine machine, on peut lire sur l'écran du DCN la coordonnée suivante selon l'axe Z, 1.2432 po. Lorsque l'outil est appuyé au bout de la pièce brute, on peut lire la coordonnée suivante selon l'axe Z, -13.243 po. La valeur du mot Z de la ligne 60 du programme pièce sera:

$$4.0 + 1.2432 - (-13.243) = 18.4862$$

Pour le calcul du mot X à inscrire au bloc G50... du programme pièce, la formule suivante est très utile:

Valeur du mot X = 15.75" - Longueur d'outil en po calculée par rapport au centre de la tourelle

Dans notre cas, puisque l'outil mesure 8.0 po, il faut programmer:

Valeur du mot X = 15.75 - 8.0 = 7.75 po

Si l'on travaille en millimètres, il faut plutôt utiliser la formule suivante:

Valeur du mot X = 400.05 mm − Longueur d'outil en mm calculée par rapport au centre de la tourelle

N.B. Sur votre MOCN, les valeurs de 15.75" et de 400.05 mm ne sont peut-être pas opportunes. De plus, si l'on mesure les longueurs d'outil par rapport à un autre point de la tourelle, ailleurs qu'à la ligne de centre, ces valeurs seront encore une fois inopportunes. Cependant, les formules seront toujours valables, mais avec des valeurs autres que 15.75" et 400.05 mm.

L'opérateur positionne l'outil au point de départ Oo qui est situé à 1.0 po dans la direction +Z du bout de la pièce et à 3.0 po dans la direction +X de l'axe de rotation de la broche, soit aux coordonnées (3 , 5). Le positionnement au point Oo peut être approximatif, puisque, en passant par l'origine machine Om, l'outil retrouvera ses coordonnées exactes.

L'opérateur est donc prêt à commencer l'usinage de la 1re pièce en pesant sur "START".

<u>INFORMATION 15</u> LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

<u>INFORMATION 16</u> LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
10- G20 G40 G96 G99 ;	Programmation du centre de l'outil en pouces, avec une vitesse périphérique constante et en avance par tour.
20- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation et l'outil utilisé est l'outil no 1.

30- G10 P01 X0.0 Z0.0 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 1 est de 0.0 po sur le diamètre selon l'axe X, de 0.0 po selon l'axe Z, de 0.0 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
40- / G28 U0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe X. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
50- / G28 W0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe Z. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
60- / G50 X7.75 Z18.879 S3000 ;	L'outil se trouve à l'origine machine de coordonnées (7.75 , 18.879) et la vitesse de rotation maximale de la broche est de 3000 RPM. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
70- M04 S500 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire à une vitesse périphérique de 500 pi/min.
80- G01 X3.0 Z5.0 F0.5 ;	Déplacement rapide au point Oo.
90- T0101 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
100- X0.75 Z3.375 ;	Déplacement rapide au point P1.
110- G01 X0.375 F0.003 ;	Déplacement au point P2 en avance programmée de 0.003 po/tour.
120- G01 X0.75 F0.5 ;	Déplacement rapide au point P1.
130- Z2.875 ;	Déplacement rapide au point P3.
140- G01 X0.375 F0.003 ;	Déplacement au point P4 en avance programmée de 0.003 po/tour.
150- G01 X0.75 F0.5 ;	Déplacement rapide au point P3.
160- X3.0 Z5.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
170- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation et l'outil utilisé est l'outil no 1.

180- M30 ;	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit remplacer la pièce usinée par une pièce brute dans le mandrin et peser sur "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce. Pour usiner la 2e pièce et les suivantes, l'opérateur peut peser sur la touche d'omission de blocs pour l'activer. Les blocs précédés d'un "/" soit les blocs numéros 40, 50 et 60 seront alors omis. Ceci permet d'usiner la pièce un peu plus rapidement, puisque le retour à l'origine machine est évité.

N.B. Votre programme pièce n'est probablement pas identique au nôtre, mais cela ne veut pas dire pour autant qu'il est erroné. La numérotation de chaque bloc en ordre croissant ne fait pas partie du programme pièce, elle n'est là que pour une meilleure compréhension du projet d'usinage. Ex.: À la ligne numéro 70, le bloc d'informations est M04 S500 ; et non pas 70- M04 S500 ;. Ceci est valable pour tous les projets de tournage.

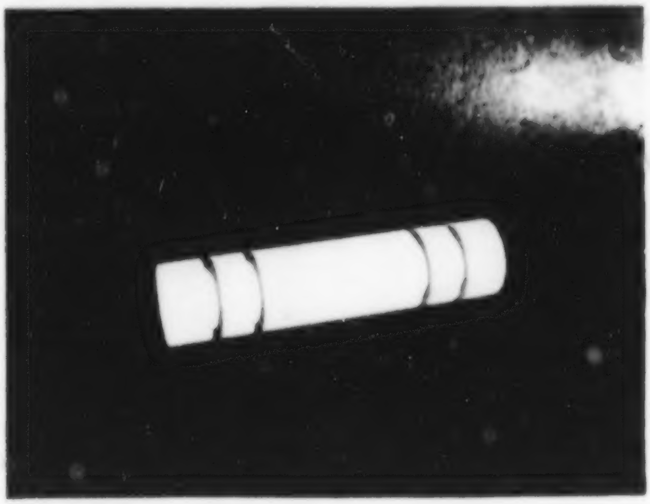


FIGURE T1.11

N.B. La photographie de la pièce produite ne fait pas partie du dossier que l'élève doit remettre. Elle n'apparaît qu'à titre d'information supplémentaire pour une meilleure compréhension du projet.

PROJET DE TOURNAGE NO 2

LES RONDELLES

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

(Date) (Nom du programmeur)

(Nom et no du programme)

(Nom et no de la pièce)

(Lieu)

(MOCN utilisée)

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

Il est possible que la contre-pointe nuise à l'usinage avec l'outil à percer qui est plus long que les autres. Si c'est le cas, il faut alors retirer complètement la contre-pointe.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	180	Perçage avec l'outil no 1.
2	170	Ébauche avec l'outil no 2.
3	45	Finition avec l'outil no 3.
4	45	Tronçonnage avec l'outil no 4.
5	10	Changement de pièce.

TABLEAU T2.4

Un temps total de 450 secondes ou 7 minutes et 30 secondes est requis pour usiner les 5 rondelles.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 8 LE SCHÉMA DES OUTILS

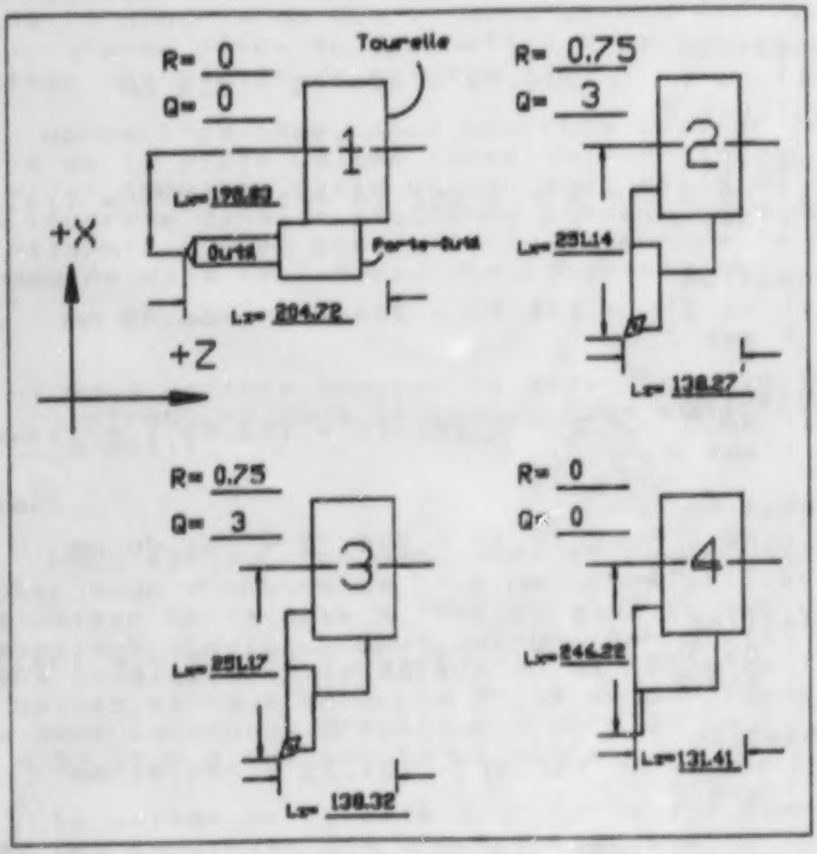


FIGURE T2.6

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

$$\text{Compensation d'outil no X selon l'axe X} = 2 * \left(\text{Longueur de l'outil no X} - \text{Longueur de l'outil de référence}\right)$$

Compensation d'outil no X selon l'axe Z = Largeur de l'outil no X - Largeur de l'outil de référence

Compensation d'outil no 1 selon l'axe X = 2 * (192.83 - 192.83) = 0.0 mm

Compensation d'outil no 1 selon l'axe Z = 204.72 - 204.72 = 0.0 mm

Compensation d'outil no 2 selon l'axe X = 2 * (251.14 - 192.83) = 116.62 mm

Compensation d'outil no 2 selon l'axe Z = 138.27 - 204.72 = -66.45 mm

Compensation d'outil no 3 selon l'axe X = 2 * (251.17 - 192.83) = 116.68 mm

Compensation d'outil no 3 selon l'axe Z = 138.32 - 204.72 = -66.40 mm

Compensation d'outil no 4 selon l'axe X = 2 * (246.22 - 192.83) = 106.78 mm

Compensation d'outil no 4 selon l'axe Z = 131.41 - 204.72 = -73.31 mm

Numéro de compensation	Numéro d'outil	Cote X (mm)	Cote Z (mm)	Rayon (mm)	Facteur de position
1	1	0.0	0.0	0.0	0
2	2	116.62	-66.45	0.75 *	3 *
3	3	116.68	-66.40	0.75 *	3 *
4	4	106.78	-73.31	0.0	0

TABLEAU T2.5

* Ces valeurs auraient pu être ramenées à zéro, puisque le programme pièce ne contient aucun code G41 ou G42.

Parfois, il est difficile de trouver la cote X à introduire dans le tableau des compensations d'outil. Dans ce cas, nous pouvons utiliser une pièce cylindrique dans les rebuts de l'atelier et l'installer dans le mandrin du tour. Nous devons écrire un petit programme pièce qui permettra d'usiner en chariotage une partie de cette pièce.

Après l'usinage, nous pourrons mesurer le diamètre de la pièce usinée (avec un vernier par exemple) et comparer cette valeur avec celle de la cote X inscrite dans le programme pièce. Nous pouvons alors déterminer avec précision la valeur de la cote X à introduire dans le tableau des compensations d'outil.

Exemple: Nous voulons trouver la cote X d'un outil à introduire dans le tableau des compensations d'outil.

Solution:

Nous écrivons un programme pièce permettant de charioter à un diamètre de 24.0 mm (X=24.0) avec aucune valeur de la cote X (X=0.0) dans le tableau des compensations d'outil. Nous usinons une pièce. Nous mesurons physiquement la valeur du diamètre de la pièce usinée et nous obtenons 23.62 mm par exemple. Il y a donc un manque d'épaisseur de 0.38 mm (24.0 - 23.62 = 0.38) sur le diamètre.

La valeur de la cote X à introduire dans le tableau des compensations d'outil est donc de +0.38 mm. Ceci veut dire que, en introduisant +0.38 comme valeur de la cote X dans le tableau des compensations d'outil, un chariotage à un diamètre programmé de 24.0 mm donne exactement une pièce usinée de 24.0 mm de diamètre.

Si la pièce usinée était plus grosse que la valeur programmée, la valeur de la cote X du tableau des compensations d'outil serait négative.

N.B. On peut aussi trouver la valeur du mot X du bloc G50 X___ Z___ en usinant un rebut.

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

Calcul de X1 et Z1

X1 = X0p = 0.0

Z1 = Z0p + 120 + 5 = 0.0 + 125 = 125

X1 = 0.0
Z1 = 125.0

Calcul de X2 et Z2

X2 = X1 = 0.0

Z2 = Z0p + 120 - 75 = 0.0 + 45 = 45

X2 = 0.0
Z2 = 45.0

Calcul de X4

X4 = Diamètre/2 = 25/2 = 12.5

X4 = 12.5

Calcul de X5 et Z5

X5 = X4 = 12.5

Z5 = 120 - 13 = 107

X5 = 12.5
Z5 = 107.0

Calcul de X6 et Z6

X6 = Diamètre/2 = 28/2 = 14

Z6 = Z5 = 107

X6 = 14
Z6 = 107

Calcul de X7 et Z7

X7 = X6 = 14

Z7 = Z6 - 13 = 107 - 13 = 94

X7 = 14
Z7 = 94

Calcul de X8 et Z8

X8 = Diamètre/2 = 31/2 = 15.5

Z8 = Z7 = 94

X8 = 15.5
Z8 = 94

Calcul de X9 et Z9

X9 = X8 = 15.5

Z9 = Z8 - 13 = 94 - 13 = 81

X9 = 15.5
Z9 = 81

Calcul de X10 et Z10

X10 = Diamètre/2 = 34/2 = 17

Z10 = Z9 = 81

X10 = 17
Z10 = 81

Calcul de X11 et Z11

X11 = X10 = 17

Z11 = Z10 - 13 = 81 - 13 = 68

X11 = 17
Z11 = 68

<u>Calcul de X12 et Z12</u>

X12 = Diamètre/2 = 37/2 = 18.5

Z12 = Z11 = 68

X12 = 18.5
Z12 = 68

<u>Calcul de X13 et Z13</u>

X13 = X12 = 18.5

Z13 = Z12 - 13 = 68 - 13 = 55

X13 = 18.5
Z13 = 55

<u>Calcul de Z14</u>

Z14 = Z13 = 55

<u>Calcul de Z15 et Z16</u>

Z15 = Z16 = Z6 = 107

Les rondelles

Calcul de Z17 et Z18

Z17 = Z18 = Z8 = 94

Calcul de Z19 et Z20

Z19 = Z20 = Z10 = 81

Calcul de Z21 et Z22

Z21 = Z22 = Z12 = 68

Calcul de Z23 et Z24

Z23 = Z24 = Z14 = 55

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (mm)	Z (mm)
Oo	150.00	200.00
Oi	207.22	200.00
Om	207.22	381.42
Oo	150.00	200.00
P1	0.00	125.00
P2	0.00	45.00

Les rondelles

P1	0.00	125.00
Oo	150.00	200.00
P3	23.00	122.00
P4	12.50	122.00
P5	12.50	107.00
P6	14.00	107.00
P7	14.00	94.00
P8	15.50	94.00
P9	15.50	81.00
P10	17.00	81.00
P11	17.00	68.00
P12	18.50	68.00
P13	18.50	55.00
P14	23.00	55.00
P3	23.00	122.00
Oo	150.00	200.00
P3	23.00	122.00

Répétition du trajet du point P4
au point P14 pour la finition.

P3	23.00	122.00
Oo	150.00	200.00
P15	15.00	107.00
P16	9.00	107.00
P15	15.00	107.00
P17	16.50	94.00
P18	9.00	94.00
P17	16.50	94.00
P19	18.00	81.00

Les rondelles

P20	9.00	81.00
P19	18.00	81.00
P21	19.50	68.00
P22	9.00	68.00
P21	19.50	68.00
P23	23.00	55.00
P24	9.00	55.00
Oo	150.00	200.00

TABLEAU T2.6

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
10- G21 G40 G97 G99 ;	Programmation du centre de l'outil, en millimètres, avec une vitesse de rotation de la broche en RPM et en avance par tour.
20- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation et l'outil utilisé est l'outil no 1.
30- G10 P01 X0.0 Z0.0 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 1 est de 0.0 mm sur le diamètre selon l'axe X, de 0.0 mm selon l'axe Z, de 0.0 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
40- G10 P02 X116.62 Z-66.45 R0.75 Q3 ;	La compensation d'outil no 2 est de 116.62 mm sur le diamètre selon l'axe X, de -66.45 mm selon l'axe Z, de 0.75 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
50- G10 P03 X116.68 Z-66.4 R0.75 Q3 ;	La compensation d'outil no 3 est de 116.68 mm sur le diamètre selon l'axe X, de -66.40 mm selon l'axe Z, de 0.75 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
60- G10 P04 X106.78 Z-73.31 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 4 est de 106.78 mm sur le diamètre selon l'axe X, de -73.31 mm selon l'axe Z, de 0.0 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.

70- / G28 U0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe X. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
80- / G28 W0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe Z. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
90- / G50 X207.22 Z381.42 S3000 ;	L'outil se trouve à l'origine machine de coordonnées (207.22 , 381.42) et la vitesse de rotation maximale de la broche est de 3000 RPM si le code G96 est actif. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
100- M03 S400 ;	La broche se met à tourner dans le sens horaire à une vitesse de rotation de 400 RPM.
110- G01 X150.0 Z200.0 F10.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
120- T0101 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
130- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
140- X0.0 Z125.0 ;	Déplacement rapide au point P1.
150- G74 Z45.0 I0.0 K2.0 F0.1 D0 ;	Le cycle de perçage par becquetage permet de percer un trou jusqu'au point P2 en avance programmée de 0.1 mm/tour par passe de 2 mm.
160- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
170- G01 X150.0 Z200.0 F10.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
180- G96 ;	Programmation de la vitesse périphérique en m/min.

190- M04 S110 T0202 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire et la vitesse périphérique est de 110 m/min. Le DCN utilise la compensation d'outil no 2 et l'outil utilisé est l'outil no 2.
200- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
210- X23.0 Z122.0 ;	Déplacement rapide au point P3.
220- G71 P10 Q20 U0.6 W0.6 D1250 F0.2 ;	Le cycle d'ébauche en chariotage permet d'ébaucher suivant le trajet décrit entre les indications N10 et N20, en laissant une surépaisseur de 0.6 mm sur le rayon et sur la longueur de la pièce avec une profondeur de coupe par passe de 1.25 mm et en avance programmée de 0.2 mm/tour.
230- N10 G01 X12.5 ;	Déplacement au point P4. Ce bloc est identifié N10.
240- Z107.0 ;	Déplacement au point P5.
250- X14.0 ;	Déplacement au point P6.
260- Z94.0 ;	Déplacement au point P7.
270- X15.5 ;	Déplacement au point P8.
280- Z81.0 ;	Déplacement au point P9.
290- X17.0 ;	Déplacement au point P10.
300- Z68.0 ;	Déplacement au point P11.
310- X18.5 ;	Déplacement au point P12.
320- Z55.0 ;	Déplacement au point P13.
330- N20 X23.0 ;	Déplacement au point P14. Ce bloc est identifié N20.
340- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
350- G01 X150.0 Z200.0 F10.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.

360- S135 T0303 ;	La vitesse périphérique est de 135 m/min. Le DCN utilise la compensation d'outil no 3 et l'outil utilisé est l'outil no 3.
370- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
380- X23.0 Z122.0 ;	Déplacement rapide au point P3.
390- G70 P10 Q20 F0.12 ;	Le cycle de finition permet d'exécuter une passe de finition suivant le trajet décrit entre les indications N10 et N20 en avance programmée de 0.12 mm/tour.
400- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
410- G01 X150.0 Z200.0 F10.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
420- S90 T0404 ;	La vitesse périphérique est de 90 m/min. Le DCN utilise la compensation d'outil no 4 et l'outil utilisé est l'outil no 4.
430- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
440- X15.0 Z107.0 ;	Déplacement rapide au point P15.
450- G01 X9.0 F0.1 ;	Déplacement au point P16 en avance programmée de 0.1 mm/tour.
460- G01 X15.0 F10.0 ;	Déplacement rapide au point P15.
470- X16.5 Z94.0 ;	Déplacement rapide au point P17.
480- G01 X9.0 F0.1 ;	Déplacement au point P18 en avance programmée de 0.1 mm/tour.
490- G01 X16.5 F10.0 ;	Déplacement rapide au point P17.
500- X18.0 Z81.0 ;	Déplacement rapide au point P19.
510- G01 X9.0 F0.1 ;	Déplacement au point P20 en avance programmée de 0.1 mm/tour.
520- G01 X18.0 F10.0 ;	Déplacement rapide au point P19.
530- X19.5 Z68.0 ;	Déplacement rapide au point P21.

540- G01 X9.0 F0.1 ;	Déplacement au point P22 en avance programmée de 0.1 mm/tour.
550- G01 X19.5 F10.0 ;	Déplacement rapide au point P21.
560- X23.0 Z55.0 ;	Déplacement rapide au point P23.
570- G01 X9.0 F0.1 ;	Déplacement au point P24 en avance programmée de 0.1 mm/tour.
580- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
590- G01 X150.0 Z200.0 F10.0	Déplacement rapide au point Oo.
600- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation et l'outil utilisé est l'outil no 1.
610- M30 ;	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit remplacer le bout de pièce restant par une pièce brute dans le mandrin et peser sur "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

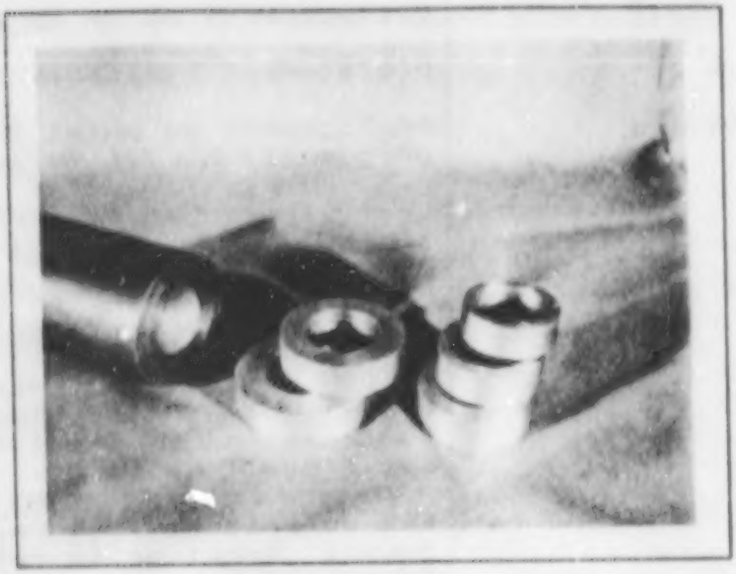


FIGURE T2.7

N.B. La photographie des pièces produites ne fait pas partie du dossier que l'élève doit remettre. Elle n'apparaît qu'à titre d'information supplémentaire pour une meilleure compréhension du projet.

PROJET DE TOURNAGE NO 3

LE FILETAGE EXTÉRIEUR

Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	55	Surfaçage avec l'outil no 1.
2	95	Chariotage avec l'outil no 2.
3	130	Filetage avec l'outil no 3.
4	30	Tronçonnage avec l'outil no 4.
5	10	Changement de pièce.

TABLEAU T3.4

Un temps total de 320 secondes ou 5 minutes et 20 secondes est requis pour usiner une pièce.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 8 LE SCHÉMA DES OUTILS

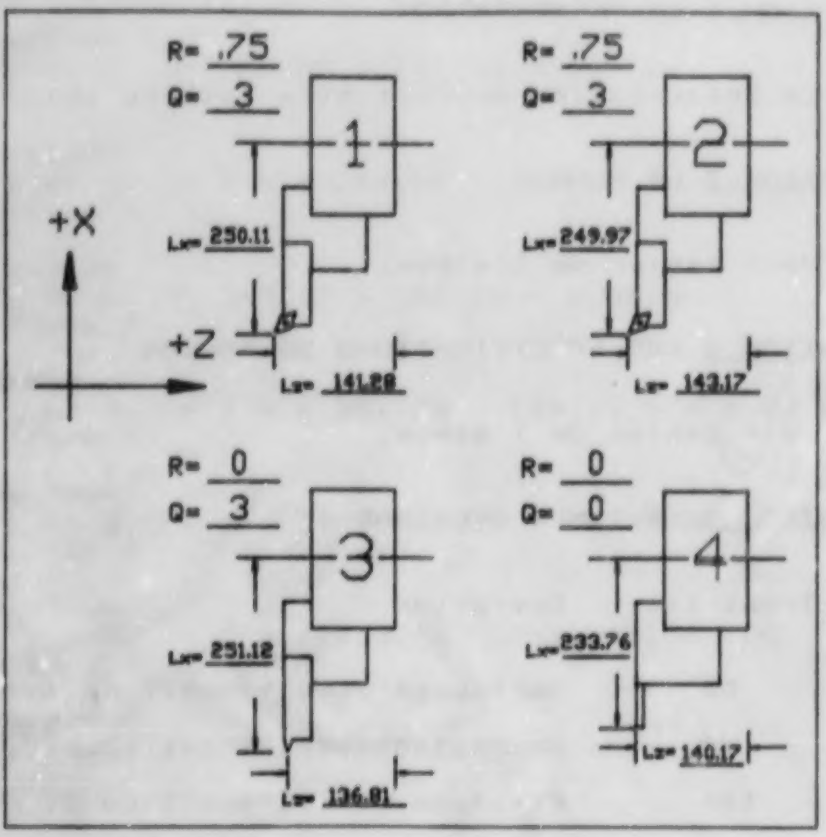


FIGURE T3.8

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

$$\text{Compensation d'outil no X selon l'axe X} = 2 * \left(\text{Longueur de l'outil no X} - \text{Longueur de l'outil de référence}\right)$$

Compensation d'outil no X selon l'axe Z	=	Largeur de l'outil no X	-	Largeur de l'outil de référence

Compensation d'outil no 1 selon l'axe X = 2 * (250.11 - 250.11) = 0.0 mm

Compensation d'outil no 1 selon l'axe Z = 141.28 - 141.28 = 0.0 mm

Compensation d'outil no 2 selon l'axe X = 2 * (249.97 - 250.11) = -0.28 mm

Compensation d'outil no 2 selon l'axe Z = 143.17 - 141.28 = 1.89 mm

Compensation d'outil no 3 selon l'axe X = 2 * (251.12 - 250.11) = 2.02 mm

Compensation d'outil no 3 selon l'axe Z = 136.81 - 141.28 = -4.47 mm

Compensation d'outil no 4 selon l'axe X = 2 * (233.76 - 250.11) = -32.7 mm

Compensation d'outil no 4 selon l'axe Z = 140.17 - 141.28 = -1.11 mm

Numéro de compensation	Numéro d'outil	Cote X (mm)	Cote Z (mm)	Rayon (mm)	Facteur de position
1	1	0.0	0.0	0.75 *	3 *
2	2	-0.28	1.89	0.75 *	3 *
3	3	2.02	-4.47	0.0	3 *
4	4	-32.70	-1.11	0.0	0

TABLEAU T3.5

* Ces valeurs auraient pu être ramenées à zéro, puisque le programme pièce ne contient aucun code G41 ou G42.

INFORMATION 10 L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 11 LES CALCULS

Calcul de Z3

(1re passe)	Z3 = Z0p + 100 - 1 = 0.0 + 99 = 99.0
(2e passe)	Z3 = Z0p + 100 - 2 = 0.0 + 98 = 98.0
(3e passe)	Z3 = Z0p + 100 - 3 = 0.0 + 97 = 97.0

Z3 = 99.0	1re passe
Z3 = 98.0	2e passe
Z3 = 97.0	3e passe

Calcul de X2 et Z2

X2 = X1 = 17.5

Z2 = Z3

X2 = 17.5	
Z2 = 99.0	1re passe
Z2 = 98.0	2e passe
Z2 = 97.0	3e passe

Calcul de X4 et Z4

X4 = X3 = -1.0

Z4 = Z1 = 110.0

X4 = -1.0
Z4 = 110.0

Calcul de X7

$X7 = \frac{\text{Diamètre}}{2} = \frac{20.588}{2} = 10.294$ 3e passe

X7 = 10.294 + 1.0 = 11.294 2e passe

X7 = 11.294 + 1.0 = 12.294 1re passe

X7 = 12.294	1re passe
X7 = 11.294	2e passe
X7 = 10.294	3e passe

Calcul de X6 et Z6

X6 = X7

Z6 = Z5 = 102.0

X6 = 12.294	1re passe
X6 = 11.294	2e passe
X6 = 10.294	3e passe
Z6 = 102.0	

Calcul de X8 et Z8

X8 = X5 = 15.00
Z8 = Z7 = 32.00

Calcul de X11 et Z11

$$X11 = \frac{Diamètre}{2} = \frac{16.798}{2} = 8.399$$

$$Z11 = 97 - 40 = 57.0$$

X11 = 8.399
Z11 = 57.0

Calcul de X10 et Z10

X10 = X11 = 8.399
Z10 = Z9 = 107.0

Calcul de X12 et Z12

X12 = X9 = 13.0
Z12 = Z11 = 57.0

Calcul de Z13

Z13 = 97 - 60 - Largeur = 37 - 3 = 34.0

Z13 = 34.0

Calcul de Z14

Z14 = Z13 = 34.0

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (mm)	Z (mm)
Oo	150.00	300.00
Oi	149.94	300.00
Om	149.94	432.23
Oo	150.00	300.00
P1	17.50	110.00
P2	17.50	99.00
P3	-1.0	99.00
P4	-1.0	110.00
P1	17.50	110.00

Répétition d'un trajet semblable à celui du point P2 au point P1, 2 autres fois, en enlevant 1 mm de matière par passe.

Point	X (mm)	Z (mm)
Oo	150.00	300.00
P5	15.00	102.00
P6	12.294	102.00
P7	12.294	32.00
P8	15.00	32.00

P5	15.00	102.00

Répétition d'un trajet semblable à celui du point P6 au point P5, 2 autres fois, en enlevant 1 mm de matière par passe.

Oo	150.00	300.00
P9	13.00	107.00
P10	8.399	107.00
P11	8.399	57.00
P12	13.00	57.00
P9	13.00	107.00

Le DCN calcule lui-même le nombre de passes nécessaires pour tailler le filet. Le trajet décrit entre le point P9 et le point P12 sont les coordonnées de la dernière passe.

Oo	150.00	300.00
P13	14.00	34.00
P14	-1.0	34.00
Oo	150.00	300.00

TABLEAU T3.6

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

<u>INFORMATION 13</u> LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 14</u> LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
10- G21 G40 G96 G98 ;	Programmation du centre de l'outil, en millimètres, avec une vitesse périphérique constante et en avance par minute.
20- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation d'outil et l'outil utilisé est l'outil no 1.
30- G10 P01 X0.0 Z0.0 R0.75 Q3 ;	La compensation d'outil no 1 est de 0.0 mm sur le diamètre selon l'axe X, de 0.0 mm selon l'axe Z, de 0.0 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
40- G10 P02 X-0.28 Z1.89 R0.75 Q3 ;	La compensation d'outil no 2 est de -0.28 mm sur le diamètre selon l'axe X, de 1.89 mm selon l'axe Z, de 0.0 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
50- G10 P03 X2.02 Z-4.47 R0.0 Q3 ;	La compensation d'outil no 3 est de 2.02 mm sur le diamètre selon l'axe X, de -4.47 mm selon l'axe Z, de 0.0 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.

60- G10 P04 X-32.7 Z-1.11 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 4 est de -32.7 mm sur le diamètre selon l'axe X, de -1.11 mm selon l'axe Z, de 0.0 mm sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
70- / G28 U0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe X. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
80- / G28 W0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe Z. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
90- / G50 X149.94 Z432.23 S3000 ;	L'outil se trouve à l'origine machine de coordonnées (149.94 , 432.23) et la vitesse de rotation maximale de la broche est de 3000 RPM si le code G96 est actif. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
100- M04 S110 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire à une vitesse périphérique de 110 m/min.
110- G01 X150.0 Z300.0 F2500 ;	Déplacement rapide au point Oo.
120- T0101 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
130- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
140- X17.5 Z110.0 ;	Déplacement rapide au point P1.
150- G94 X-1.0 Z99.0 K0.0 F225 ;	Le cycle de surfaçage permet d'enlever 1 mm de matière sur le bout de la pièce selon le trajet indiqué à la figure T3.2 avec une vitesse d'avance programmée de 225 mm/min.

160- Z98.0 ;	Le cycle de surfaçage permet d'enlever 1 mm de matière sur le bout de la pièce selon le trajet indiqué à la figure T3.2 avec une vitesse d'avance programmée.
170- Z97.0 ;	Le cycle de surfaçage permet d'enlever 1 mm de matière sur le bout de la pièce selon le trajet indiqué à la figure T3.2 avec une vitesse d'avance programmée.
180- G01 X150.0 Z300.0 F2500 ;	Déplacement rapide au point Oo.
190- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
200- G97 ;	Programmation de la vitesse de rotation en RPM.
210- S1400 T0202 ;	La vitesse de rotation de la broche est de 1400 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 2 et l'outil utilisé est l'outil no 2.
220- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
230- X15.0 Z102.0 ;	Déplacement rapide au point P5.
240- G90 X12.294 Z32.0 I0.0 F200 ;	Le cycle de chariotage permet d'enlever 1 mm de matière sur les côtés de la pièce selon le trajet indiqué à la figure T3.4 avec une vitesse d'avance programmée de 200 mm/min.
250- X11.294 ;	Le cycle de chariotage permet d'enlever 1 mm de matière sur les côtés de la pièce selon le trajet indiqué à la figure T3.4 avec une vitesse d'avance programmée.
260- X10.294 ;	Le cycle de chariotage permet d'enlever 1 mm de matière sur les côtés de la pièce selon le trajet indiqué à la figure T3.4 avec une vitesse d'avance programmée.
270- G01 X150.0 Z300.0 F2500 ;	Déplacement rapide au point Oo.

280- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
290- M03 S1000 T0303 ;	La broche se met à tourner dans le sens horaire à une vitesse de rotation de 1000 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 3 et l'outil utilisé est l'outil no 3.
300- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
310- X13.0 Z107.0 ;	Déplacement rapide au point P9.
320- G76 X8.399 Z57.0 I0.0 K1.895 D350 F2.5 A60 ;	Le cycle de filetage complet permet de tailler un filet cylindrique entre le point P10 et le point P11 d'un pas de 2.5 mm et d'une profondeur totale de 1.895 mm. La profondeur de la 1re passe est de 0.35 mm et l'angle du filet est de 60°.
330- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
340- G01 X150.0 Z300.0 F2500 ;	Déplacement rapide au point Oo.
350- M04 S1500 T0404 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire à une vitesse de rotation de 1500 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 4 et l'outil utilisé est l'outil no 4.
360- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
370- X14.0 Z34.0 ;	Déplacement rapide au point P13.
380- G01 X-1.0 F125 ;	Déplacement au point P14 en avance programmée de 125 mm/min.
390- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
400- G01 X150.0 Z300.0 F2500 ;	Déplacement rapide au point Oo.

410- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation d'outil et l'outil utilisé est l'outil no 1.
420- M30 ;	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit remplacer le bout de la pièce restant par une pièce brute dans le mandrin et peser sur "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

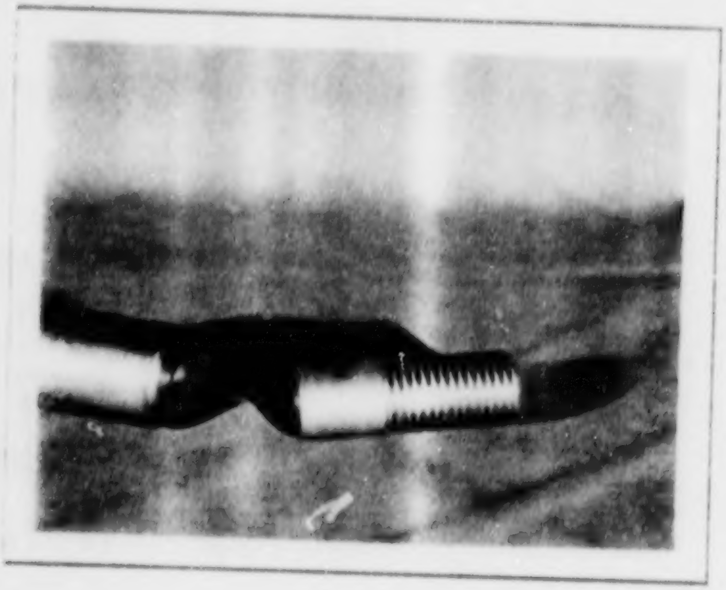


FIGURE T3.9

PROJET DE TOURNAGE NO 4
LE GROS "SMARTIES"
Dossier complet

INFORMATION 1 LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

INFORMATION 2 LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 3 LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 4 LES PRÉCAUTIONS

Remarquez bien le montage et l'outil particulier utilisé.

INFORMATION 5 LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	750	Ébauche du 1er côté avec l'outil no 1.
2	190	Finition du 1er côté avec l'outil no 2.
3	25	Changement de côté de la pièce.
4	750	Ébauche du 2e côté avec l'outil no 1.
5	190	Finition du 2e côté avec l'outil no 2.
6	30	Changement de pièce.

TABLEAU T4.3

Le gros "smarties"

Un temps total de 1935 secondes ou 32 minutes et 15 secondes est requis pour usiner une pièce.

<u>INFORMATION 6</u> LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 7</u> LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 9</u> LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Numéro de compensation	Numéro d'outil	Cote X (po)	Cote Z (po)	Rayon (po)	Facteur de position
1	1	0.0	0.0	0.0	0

TABLEAU T4.4

<u>INFORMATION 10</u> L'ITINÉRAIRE

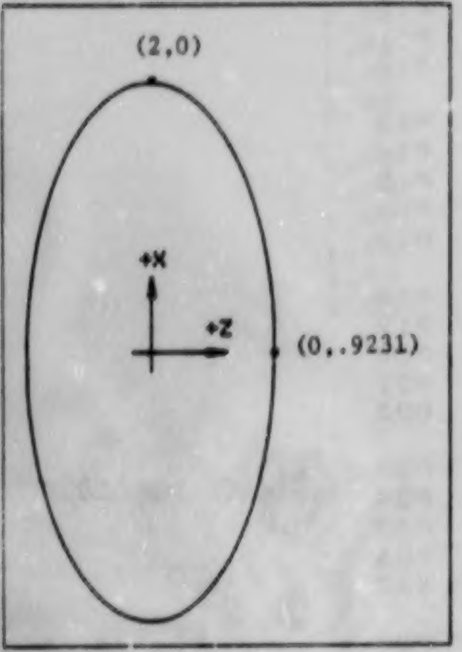
- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 11</u> LES CALCULS

Trouvons d'abord l'équation de l'ellipse centrée en X = 0 et Z = 0.

Équation générale: $\frac{X^2}{A^2} + \frac{Z^2}{B^2} = 1$

Le gros "smarties"



D'après la figure T4.5, les points suivants appartiennent à l'ellipse: ($X = 0$, $Z = 0.9231$) et ($X = 2.0$, $Z = 0$).

De (0 , 0.9231), l'équation générale devient $\frac{0^2}{A^2} + \frac{.9231^2}{B^2} = 1$

d'où $.9231^2 = B^2$

De (2 , 0), l'équation générale devient $\frac{2^2}{A^2} + \frac{0^2}{B^2} = 1$

d'où $2^2 = A^2$

FIGURE T4.5

L'équation particulière de l'ellipse est donc:

$$\frac{X^2}{2^2} + \frac{Z^2}{.9231^2} = 1$$

En connaissant une valeur de X, on peut trouver la valeur de Z appropriée.

$$Z = .9231\sqrt{1 - \frac{X^2}{4}}$$

Pour $X = 0.0$, on a une valeur de $Z = .9231$

Pour $X = 0.2$, on a une valeur de $Z = .9185$ (point P3)

Valeur de X	Valeur de Z	
0.24	0.9164	P4
0.28	0.9140	P5
0.32	0.9112	P6
0.36	0.9080	P7

Le gros "smarties"

0.40	0.9044	P8
0.44	0.9005	P9
0.48	0.8961	P10
0.52	0.8914	P11
0.56	0.8862	P12
0.60	0.8806	P13
0.64	0.8746	P14
0.68	0.8681	P15
0.72	0.8612	P16
0.76	0.8539	P17
0.80	0.8460	P18
0.84	0.8377	P19
0.88	0.8289	P20
0.92	0.8196	P21
0.96	0.8098	P22
1.00	0.7994	P23
1.04	0.7885	P24
1.08	0.7769	P25
1.12	0.7648	P26
1.16	0.7520	P27
1.20	0.7385	P28
1.24	0.7243	P29
1.28	0.7093	P30
1.32	0.6935	P31
1.36	0.6768	P32
1.40	0.6592	P33
1.44	0.6406	P34
1.48	0.6209	P35
1.52	0.5999	P36
1.56	0.5777	P37
1.60	0.5539	P38
1.62	0.5413	P39
1.64	0.5283	P40
1.66	0.5149	P41
1.68	0.5009	P42
1.70	0.4863	P43
1.72	0.4711	P44
1.74	0.4551	P45
1.76	0.4384	P46
1.78	0.4209	P47
1.80	0.4024	P48
1.82	0.3827	P49
1.84	0.3618	P50
1.86	0.3393	P51
1.88	0.3149	P52

Le gros "smarties"

1.90	0.2882	P53
1.91	0.2738	P54
1.92	0.2585	P55
1.93	0.2421	P56
1.94	0.2244	P57
1.95	0.2051	P58
1.96	0.1837	P59
1.97	0.1593	P60
1.98	0.1302	P61
1.99	0.0922	P62
2.00	0.0000	P63

TABLEAU T4.5

Calcul de X2

$$X2 = X3 = 0.2$$

Calcul de Z64

$$Z64 = Z63 = 0.0$$

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Z (po)
Oo	4.0	5.0
Oi	7.7813	5.0
Om	7.7813	17.98
Oo	4.0	5.0
P1	2.1	1.15
P2	0.2	1.15
P3	0.2	0.9185

Le gros "smarties"

P4	0.24	0.9164
P5	0.28	0.9140
P6	0.32	0.9112
P7	0.36	0.9080
P8	0.4	0.9044
P9	0.44	0.9005
P10	0.48	0.8961
P11	0.52	0.8914
P12	0.56	0.8862
P13	0.6	0.8806
P14	0.64	0.8746
P15	0.68	0.8681
P16	0.72	0.8612
P17	0.76	0.8539
P18	0.80	0.8460
P19	0.84	0.8377
P20	0.88	0.8289
P21	0.92	0.8196
P22	0.96	0.8098
P23	1.0	0.7994
P24	1.04	0.7885
P25	1.08	0.7769
P26	1.12	0.7648
P27	1.16	0.7520
P28	1.2	0.7385
P29	1.24	0.7243
P30	1.28	0.7093

Le gros "smarties"

P31	1.32	0.6935
P32	1.36	0.6768
P33	1.4	0.6592
P34	1.44	0.6406
P35	1.48	0.6209
P36	1.52	0.5999
P37	1.56	0.5777
P38	1.6	0.5539
P39	1.62	0.5413
P40	1.64	0.5283
P41	1.66	0.5149
P42	1.68	0.5009
P43	1.7	0.4863
P44	1.72	0.4711
P45	1.74	0.4551
P46	1.76	0.4384
P47	1.78	0.4209
P48	1.8	0.4024
P49	1.82	0.3827
P50	1.84	0.3618
P51	1.86	0.3393
P52	1.88	0.3149
P53	1.9	0.2882
P54	1.91	0.2738
P55	1.92	0.2585
P56	1.93	0.2421
P57	1.94	0.2244

Le gros "smarties"

P58	1.95	0.2051
P59	1.96	0.1837
P60	1.97	0.1593
P61	1.98	0.1302
P62	1.99	0.0922
P63	2.0	0.0
P64	2.1	0.0
P1	2.1	1.15

Répétition du trajet du point P2 au point P64 pour la finition.

P1	2.1	1.15
Oo	4.0	5.0

TABLEAU T4.6

Pour que le trajet de l'outil ressemble à une ellipse, il faut définir plusieurs points. Il faut, entre les coordonnées X=0.2 po et X=1.6 po, trouver la coordonnée Z appropriée pour chaque coordonnée X distancée de 0.04 po, soit X=0.2, X=0.24, X=0.28, X=0.32, etc.

Pour les coordonnées de X=1.6 po à X=1.9 po, il faut trouver la coordonnée Z appropriée pour chaque coordonnée X distancée de 0.02 po, soit X=1.6, X=1.62, X=1.64, etc.

Pour les coordonnées de X=1.9 po à X=2.0 po, il faut trouver la coordonnée Z appropriée pour chaque coordonnée X distancée de 0.01 po, soit X=1.9, X=1.91, X=1.92, etc.

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée et des outils utilisés. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
10- G20 G40 G96 G98 ;	Programmation du centre de l'outil, en pouces, avec une vitesse périphérique constante et en avance par minute.
20- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation d'outil et l'outil utilisé est l'outil no 1.
30- G10 P01 X0.0 Z0.0 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 1 est de 0.0 po sur le diamètre selon l'axe X, de 0.0 po selon l'axe Z, de 0.0313 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
40- / G28 U0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe X. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
50- / G28 W0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe Z. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.

60- / G50 X7.7813 Z17.98 S3000 ;	L'outil se trouve à l'origine machine de coordonnées (7.7813 , 17.98) et la vitesse de rotation maximale de la broche est de 3000 RPM. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
70- M03 S400 ;	La broche se met à tourner dans le sens horaire à une vitesse périphérique de 400 pi/min.
80- G01 X4.0 Z5.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
90- T0101 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
100- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
110- X2.1 Z1.15 ;	Déplacement rapide au point P1.
120- G71 P10 Q20 U0.02 W0.02 D500 F2.0 ;	Le cycle de dégrossissage en chariotage permet de dégrossir suivant le trajet décrit entre les indications N10 et N20, en laissant une surépaisseur de 0.02 pouce sur le rayon et sur la longueur de la pièce, avec une profondeur de coupe par passe de 0.05 po et en avance programmée de 2.0 po/min.
130- N10 G01 X0.2 ;	Déplacement au point P2. Ce bloc est identifié N10.
140- Z0.9185 ;	Déplacement au point P3.
150- X0.24 Z0.9164 ;	Déplacement au point P4.
160- X0.28 Z0.914 ;	Déplacement au point P5.
170- X0.32 Z0.9112 ;	Déplacement au point P6.
180- X0.36 Z0.908 ;	Déplacement au point P7.
190- X0.4 Z0.9044 ;	Déplacement au point P8.
200- X0.44 Z0.9005 ;	Déplacement au point P9.
210- X0.48 Z0.8961 ;	Déplacement au point P10.
220- X0.52 Z0.8914 ;	Déplacement au point P11.

230- X0.56 Z0.8862 ;	Déplacement au point P12.
240- X0.6 Z0.8806 ;	Déplacement au point P13.
250- X0.64 Z0.8746 ;	Déplacement au point P14.
260- X0.68 Z0.8681 ;	Déplacement au point P15.
270- X0.72 Z0.8612 ;	Déplacement au point P16.
280- X0.76 Z0.8539 ;	Déplacement au point P17.
290- X0.8 Z0.846 ;	Déplacement au point P18.
300- X0.84 Z0.8377 ;	Déplacement au point P19.
310- X0.88 Z0.8289 ;	Déplacement au point P20.
320- X0.92 Z0.8196 ;	Déplacement au point P21.
330- X0.96 Z0.8098 ;	Déplacement au point P22.
340- X1.0 Z0.7994 ;	Déplacement au point P23.
350- X1.04 Z0.7885 ;	Déplacement au point P24.
360- X1.08 Z0.7769 ;	Déplacement au point P25.
370- X1.12 Z0.7648 ;	Déplacement au point P26.
380- X1.16 Z0.752 ;	Déplacement au point P27.
390- X1.2 Z0.7385 ;	Déplacement au point P28.
400- X1.24 Z0.7243 ;	Déplacement au point P29.
410- X1.28 Z0.7093 ;	Déplacement au point P30.
420- X1.32 Z0.6935 ;	Déplacement au point P31.
430- X1.36 Z0.6768 ;	Déplacement au point P32.
440- X1.4 Z0.6592 ;	Déplacement au point P33.
450- X1.44 Z0.6406 ;	Déplacement au point P34.
460- X1.48 Z0.6209 ;	Déplacement au point P35.
470- X1.52 Z0.5999 ;	Déplacement au point P36.
480- X1.56 Z0.5777 ;	Déplacement au point P37.
490- X1.6 Z0.5539 ;	Déplacement au point P38.

500- X1.62 Z0.5413 ;	Déplacement au point P39.
510- X1.64 Z0.5283 ;	Déplacement au point P40.
520- X1.66 Z0.5149 ;	Déplacement au point P41.
530- X1.68 Z0.5009 ;	Déplacement au point P42.
540- X1.7 Z0.4863 ;	Déplacement au point P43.
550- X1.72 Z0.4711 ;	Déplacement au point P44.
560- X1.74 Z0.4551 ;	Déplacement au point P45.
570- X1.76 Z0.4384 ;	Déplacement au point P46.
580- X1.78 Z0.4209 ;	Déplacement au point P47.
590- X1.8 Z0.4024 ;	Déplacement au point P48.
600- X1.82 Z0.3827 ;	Déplacement au point P49.
610- X1.84 Z0.3618 ;	Déplacement au point P50.
620- X1.86 Z0.3393 ;	Déplacement au point P51.
630- X1.88 Z0.3149 ;	Déplacement au point P52.
640- X1.9 Z0.2882 ;	Déplacement au point P53.
650- X1.91 Z0.2738 ;	Déplacement au point P54.
660- X1.92 Z0.2585 ;	Déplacement au point P55.
670- X1.93 Z0.2421 ;	Déplacement au point P56.
680- X1.94 Z0.2244 ;	Déplacement au point P57.
690- X1.95 Z0.2051 ;	Déplacement au point P58.
700- X1.96 Z0.1837 ;	Déplacement au point P59.
710- X1.97 Z0.1593 ;	Déplacement au point P60.
720- X1.98 Z0.1302 ;	Déplacement au point P61.
730- X1.99 Z0.0922 ;	Déplacement au point P62.
740- X2.0 Z0.0 ;	Déplacement au point P63.
750- N20 X2.1 ;	Déplacement au point P64. Ce bloc est identifié N20.

760- S500 ;	La vitesse périphérique est de 500 pi/min.
770- G70 P10 Q20 F1.0 ;	Le cycle de finition permet d'exécuter une passe de finition suivant le trajet décrit entre les indications N10 et N20 en avance programmée de 1.0 po/min.
780- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
790- G01 X4.0 Z5.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
800- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation d'outil et l'outil utilisé est l'outil no 1.
810- M30 ;	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit dévisser la pièce, la revisser par l'autre bout et peser sur "START". L'usinage du 2e côté de la pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

(OU)

L'opérateur doit dévisser la pièce usinée, la remplacer par une pièce brute et peser sur "START". L'usinage du 1er côté de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

FIGURE T4.6

PROJET DE TOURNAGE NO 5

LE FILETAGE INTÉRIEUR

Dossier complet

<u>INFORMATION 1</u> LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

<u>INFORMATION 2</u> LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 3</u> LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 4</u> LES PRÉCAUTIONS

Il est possible que la contre-pointe nuise à l'usinage avec les outils intérieurs qui sont plus longs que les outils extérieurs. Alors, il faudra retirer complètement la contre-pointe.

ATTENTION! le tronçonnage ne doit pas être complet. Il faut tronçonner jusqu'à un rayon de 0.8 po, retirer l'outil, puis casser la pièce manuellement, sinon la pièce risque de se détacher brusquement et causer des dommages à l'opérateur et à la MOCN.

<u>INFORMATION 5</u> LE TEMPS D'USINAGE

Étape	Temps (s)	Opération
1	70	Perçage avec l'outil no 1.
2	70	Alésage avec l'outil no 2.
3	160	Filetage avec l'outil no 3.
4	80	Chariotage avec l'outil no 4.

5	20	Ébauche du coin gauche avec l'outil no 5.
6	15	Ébauche du coin droit avec l'outil no 6.
7	20	Surfaçage avec l'outil no 6.
8	30	Finition avec l'outil no 6.
9	40	Tronçonnage avec l'outil no 5.
10	10	Changement de pièce.

TABLEAU T5.3

Un temps total de 515 secondes ou 8 minutes et 35 secondes est requis pour usiner une pièce.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 8 LE SCHÉMA DES OUTILS

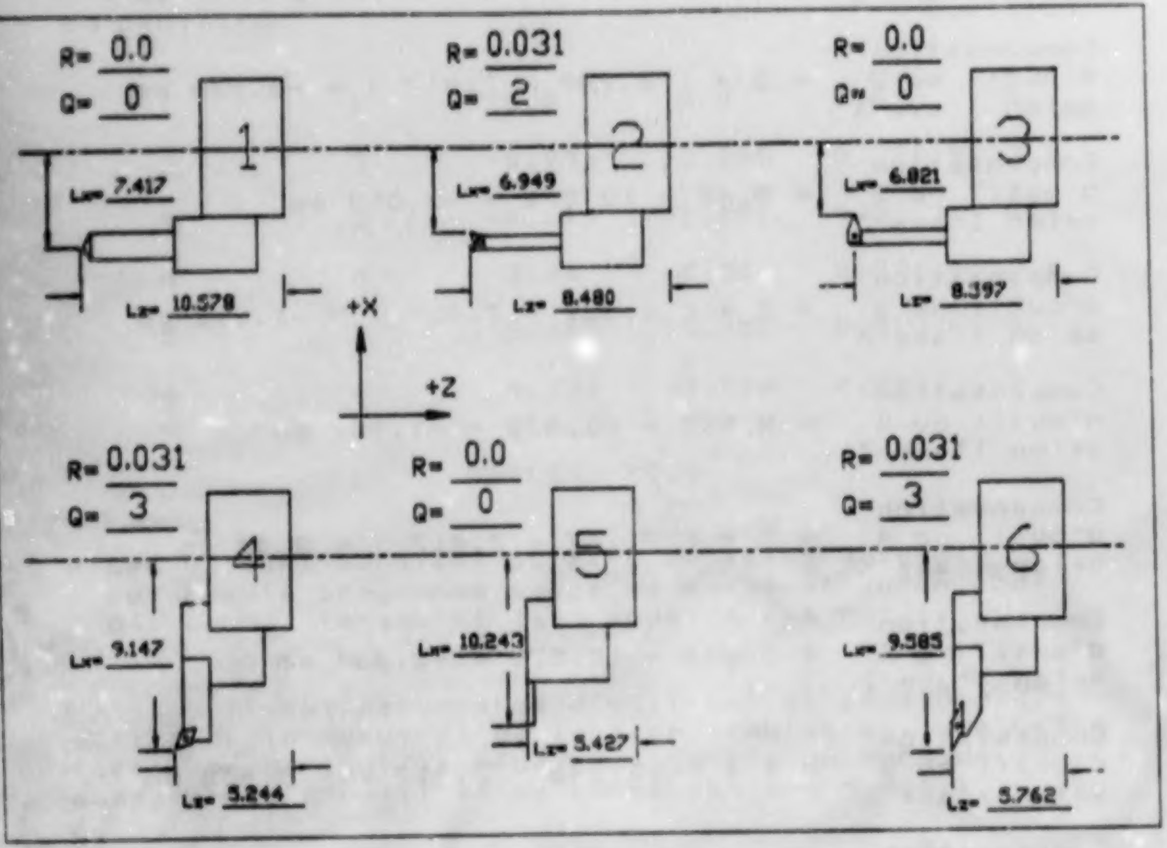


FIGURE T5.12

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation d'outil no X selon l'axe X = 2 * (Longueur de l'outil no X - Longueur de l'outil de référence)

Compensation d'outil no X selon l'axe Z = Largeur de l'outil no X - Largeur de l'outil de référence

Compensation d'outil no 1 selon l'axe X = 2 * (7.417 - 7.417) = 0.0 po

Compensation d'outil no 1 selon l'axe Z	= 10.578 - 10.578 = 0.0 po
Compensation d'outil no 2 selon l'axe X	= 2 * (6.949 - 7.417) = -0.936 po
Compensation d'outil no 2 selon l'axe Z	= 8.48 - 10.578 = -2.098 po
Compensation d'outil no 3 selon l'axe X	= 2 * (6.821 - 7.417) = -1.192 po
Compensation d'outil no 3 selon l'axe Z	= 8.597 - 10.578 = -1.981 po
Compensation d'outil no 4 selon l'axe X	= 2 * (9.147 - 7.417) = 3.46 po
Compensation d'outil no 4 selon l'axe Z	= 5.244 - 10.578 = -5.334 po
Compensation d'outil no 5 selon l'axe X	= 2 * (10.243 - 7.417) = 5.652 po
Compensation d'outil no 5 selon l'axe Z	= 5.427 - 10.578 = -5.151 po
Compensation d'outil no 6 selon l'axe X	= 2 * (9.585 - 7.417) = 4.336 po
Compensation d'outil no 6 selon l'axe Z	= 5.762 - 10.578 = -4.816 po

Numéro de compensation	Numéro d'outil	Cote X (po)	Cote Z (po)	Rayon (po)	Facteur de position
1	1	0.0	0.0	0.0	0
2	2	-0.936	-2.098	0.031 *	2 *
3	3	-1.192	-1.981	0.0	0
4	4	3.46	-5.334	0.031 *	3 *
5	5	5.652	-5.151	0.0	0
6	6	4.336	-4.816	0.031	3

TABLEAU T5.4

* Ces valeurs auraient pu être ramenées à zéro, puisque le programme pièce ne contient aucun code G41 ou G42 lorsqu'il fait appel à ces outils.

Il est recommandé d'utiliser si possible des outils de longueur et de largeur semblables. De cette façon, on diminue le risque de collision lors des changements d'outil et de compensations d'outil.

<u>INFORMATION 10</u> L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 11</u> LES CALCULS

<u>Calcul de X1 et X2</u>

X1 = X0p = 0.0

X1 = X2 = 0.0

Calcul de X4 et X5

$$X4 = \frac{1.3195}{2} = 0.6598$$

$$\boxed{X4 = X5 = 0.6598}$$

Calcul de X9 et X10

$$X9 = \frac{1.536}{2} = 0.768$$

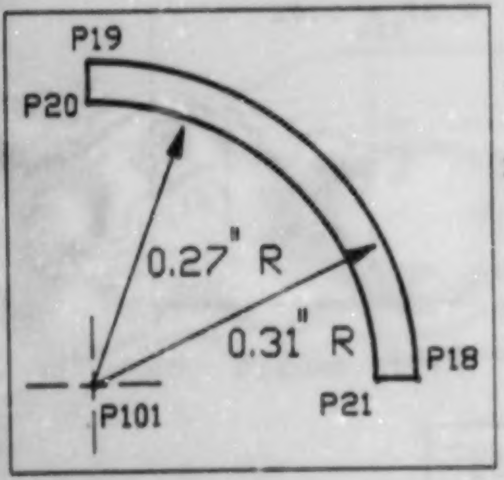
$$\boxed{X9 = X10 = 0.768}$$

Calcul de X12 et X13

$$X12 = \frac{2.75}{2} = 1.375$$

$$\boxed{X12 = X13 = 1.375}$$

Calcul de Z18



Z101 = Z0p - 0.25 = -0.25

X101 = X12 - 0.25 = 1.375 - 0.25
= 1.125

Z18 = Z101 + 0.31 = -0.25 + 0.31
= 0.06

FIGURE T5.13

Z18 = 0.06

Calcul de X19

X19 = X101 + 0.31 = 1.125 + 0.31 = 1.435

X19 = 1.435

Calcul de X20

X20 = X101 + 0.27 = 1.125 + 0.27 = 1.395

X20 = 1.395

Calcul de Z21

$$Z21 = Z101 + 0.27 = -0.25 + 0.27 = 0.02$$

$$\boxed{Z21 = 0.02}$$

Calcul de Z22 et Z23

$$Z22 = Z0p + 0.02 = 0.02$$

$$\boxed{Z22 = Z23 = 0.02}$$

Calcul de Z26

$$Z26 = Z0p - 1.5 = -1.5$$

$$\boxed{Z26 = -1.5}$$

Calcul de X27 et X28

$$\boxed{X27 = X28 = X12 = 1.375}$$

Calcul de X25 et X26

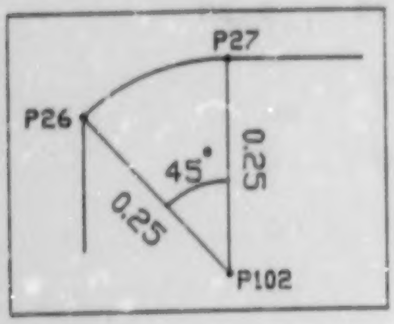


FIGURE T5.14

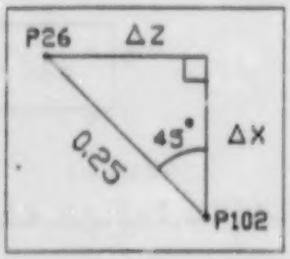


FIGURE T5.15

$$\cos 45° = \frac{\Delta x}{0.25}$$

$$\Delta x = 0.25 \cos 45° = 0.1768$$

$$X26 = X27 - 0.25 + \Delta x = 1.375 - 0.25 + 0.1768 = 1.3018$$

$$\boxed{X26 = X25 = 1.3018}$$

Calcul de Z27

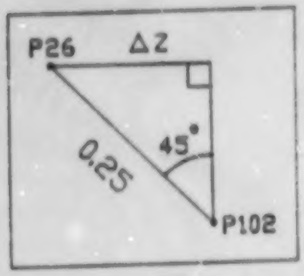


FIGURE T5.16

$$\sin 45° = \frac{\Delta z}{0.25}$$

$$\Delta z = 0.25 \sin 45° = 0.1768$$

$$Z27 = Z26 + \Delta z = -1.5 + 0.1768 = 1.3232$$

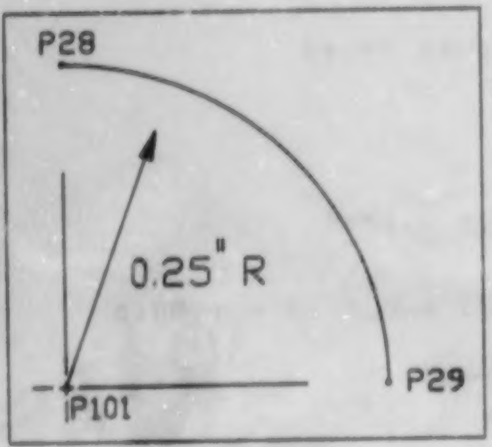
$$\boxed{Z27 = 1.3232}$$

Calcul de Z28

Z28 = Z0p - 0.25 = 0.0 - 0.25 = -0.25

Z28 = -0.25

Calcul de X29, Z29 et Z30



X29 = X28 - 0.25 = 1.375 - 0.25
= 1.125

Z29 = Z28 + 0.25 = -0.25 + 0.25
= 0.0

FIGURE T5.17

X29 = 1.125
Z29 = Z30 = 0.0

Calcul de Z31 et Z32

Z31 = Z26 - 0.125 = -1.5 - 0.125 = -1.625

Z31 = Z32 = -1.625

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Z (po)
Oo	5.0	8.0
Oi	8.333	8.0
Om	8.333	14.354
Oo	5.0	8.0
P1	0.0	0.15
P2	0.0	-2.4
P1	0.0	0.15
Oo	5.0	8.0
P3	0.48	0.15
P4	0.6598	0.15
P5	0.6598	-2.0
P6	0.48	-2.0
P3	0.48	0.15
Oo	5.0	8.0
P7	0.6	0.25
P8	0.6	-1.75
P9	0.768	-1.75
P10	0.768	0.25
P7	0.6	0.25
P8	0.6	-1.75
P7	0.6	0.25
Oo	5.0	8.0
P11	1.6	0.15
P12	1.375	0.15

Le filetage intérieur

P13	1.375	-2.0
P14	1.6	-2.0
P11	1.6	0.15
Oo	5.0	8.0
P15	1.5	-1.5832
P16	1.3588	-1.5832
P15	1.5	-1.5832
Oo	5.0	8.0
P17	1.125	0.15
P18	1.125	0.06
P19	1.435	-0.25
P20	1.395	-0.25
P21	1.125	0.02
Oo	5.0	8.0
P22	1.5	0.02
P23	0.5	0.02
Oo	5.0	8.0
P24	1.5	-1.55
P25	1.3018	-1.55
P26	1.3018	-1.5
P27	1.375	-1.3232
P28	1.375	-0.25
P29	1.125	0.0
P30	0.5	0.0
Oo	5.0	8.0
P31	1.5	-1.625
P32	0.8	-1.625

P31	1.5	-1.625
Oo	5.0	8.0

TABLEAU T5.5

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

INFORMATION 13 LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 14 LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 15 LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
10- G20 G40 G97 G98 ;	Programmation du centre de l'outil, en pouces, avec une vitesse de rotation de la broche en RPM et en avance par minute.
20- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation et l'outil utilisé est l'outil no 1.

30- G10 P01 X0.0 Z0.0 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 1 est de 0.0 po sur le diamètre selon l'axe X, de 0.0 po selon l'axe Z, de 0.0 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
40- G10 P02 X-0.936 Z-2.098 R0.031 Q2 ;	La compensation d'outil no 2 est de -0.936 po sur le diamètre selon l'axe X, de -2.098 po selon l'axe Z, de 0.0 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction +X et -Z par rapport au centre de l'outil.
50- G10 P03 X-1.192 Z-1.981 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 3 est de -1.192 po sur le diamètre selon l'axe X, de -1.981 po selon l'axe Z, de 0.0 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
60- G10 P04 X3.46 Z-5.334 R0.031 Q3 ;	La compensation d'outil no 4 est de 3.46 po sur le diamètre selon l'axe X, de -5.334 po selon l'axe Z, de 0.031 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
70- G10 P05 X5.652 Z-5.151 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 5 est de 5.652 po sur le diamètre selon l'axe X, de -5.151 po selon l'axe Z, de 0.0 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
80- G10 P06 X4.336 Z-4.816 R0.031 Q3 ;	La compensation d'outil no 6 est de 4.336 po sur le diamètre selon l'axe X, de -4.816 po selon l'axe Z, de 0.031 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.

90- / G28 U0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe X. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
100- / G28 W0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe Z. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
110- / G50 X8.333 Z14.354 ;	L'outil se trouve à l'origine machine de coordonnées (8.333 , 14.354). Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
120- M03 S1000 ;	La broche se met à tourner dans le sens horaire à une vitesse de rotation de 1000 RPM.
130- G01 X5.0 Z9.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
140- T0101 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
150- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
160- X0.0 Z0.15 ;	Déplacement rapide au point P1.
170- G74 Z-2.4 I0.0 K0.1 F7.5 D0 ;	Le cycle de perçage par becquetage permet de percer un trou jusqu'au point P2 en avance programmée de 7.5 po/min par passe de 0.05 po.
180- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
190- G01 X5.0 Z9.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
200- M04 S2300 T0202 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire à une vitesse de rotation de 2300 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 2 et l'outil utilisé est l'outil no 2.
210- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
220- X0.48 Z0.15 ;	Déplacement rapide au point P3.

230- G71 P10 Q20 U0.0 W0.0 D500 F12.0 ;	Le cycle de dégrossissage par chariotage permet de dégrossir suivant le trajet décrit entre les indications N10 et N20, en ne laissant aucune surépaisseur sur le rayon et sur la longueur de la pièce avec une profondeur de coupe par passe de 0.05 po et en avance programmée de 12.0 po/min.
240- N10 G01 X0.6598 ;	Déplacement au point P4. Ce bloc est identifié N10.
250- Z-2.0 ;	Déplacement au point P5.
260- N20 X0.48 ;	Déplacement au point P6. Ce bloc est identifié N20.
270- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
280- G01 X5.0 Z8.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
290- S800 T0303 ;	La vitesse de rotation de la broche est de 800 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 3 et l'outil utilisé est l'outil no 3.
300- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
310- X0.6 Z0.25 ;	Déplacement rapide au point P7.
320- Z-1.75 ;	Déplacement rapide au point P8.
330- G76 X0.768 Z0.25 I0.0 K0.1083 D150 E0.166667 A60 ;	Le cycle de filetage complet permet de tailler un filet cylindrique entre le point P9 et le point P10 d'un pas de 0.166667 po et d'une profondeur totale de 0.1083 po. La profondeur de la 1re passe est de 0.015 po et l'angle du filet est de 60°.
340- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
350- G01 Z0.25 F100.0 ;	Déplacement rapide au point P7.
360- X5.0 Z8.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.

370- M00 ;	Arrêt du programme. Ce bloc permettra de dégager les outils numéros 1, 2 et 3 de la tourelle, s'ils nuisent à l'usinage avec les outils numéros 4, 5 et 6.
380- M04 S1400 T0404 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire à une vitesse de rotation de 1400 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 4 et l'outil utilisé est l'outil no 4.
390- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
400- X1.6 Z0.15 ;	Déplacement rapide au point P11.
410- G71 P30 Q40 U0.02 W0.0 D500 F14.0 ;	Le cycle de dégrossissage par chariotage permet de dégrossir suivant le trajet décrit entre les indications N30 et N40, en laissant une surépaisseur de 0.02 po sur le rayon de la pièce avec une profondeur de coupe par passe de 0.05 po et en avance programmée de 14.0 po/min.
420- N30 G01 X1.375 ;	Déplacement au point P12. Ce bloc est identifié N30.
430- Z-2.0 ;	Déplacement au point P13.
440- N40 X1.6 ;	Déplacement au point P14. Ce bloc est identifié N40.
450- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
460- G01 X5.0 Z8.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
470- S1100 T0505 ;	La vitesse de rotation de la broche est de 1100 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 5 et l'outil utilisé est l'outil no 5.
480- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
490- X1.5 Z-1.5832 ;	Déplacement rapide au point P15.
500- G01 X1.3588 F6.5 ;	Déplacement au point P16 en avance programmée de 6.5 po/min.

510- G01 X1.5 F100.0 ;	Déplacement rapide au point P15.
520- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
530- X5.0 Z8.[illegible] ;	Déplacement rapide au point Oo.
540- S1400 T0606 ;	La vitesse de rotation de la broche est de 1400 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 6 et l'outil utilisé est l'outil no 6.
550- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
560- X1.125 Z0.15 ;	Déplacement rapide au point P17.
570- G01 Z0.06 F12.0 ;	Déplacement linéaire au point P18 en avance programmée de 12.0 po/min.
580- G03 X1.435 Z-0.25 R0.31 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P19 en avance programmée.
590- G01 X1.395 ;	Déplacement linéaire au point P20 en avance programmée.
600- G02 X1.125 Z0.02 R0.27 ;	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P21 en avance programmée.
610- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
620- G01 X5.0 Z8.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
630- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
640- X1.5 Z0.02 ;	Déplacement rapide au point P22.
650- G01 X0.5 F12.0 ;	Déplacement au point P23 en avance programmée de 12.0 po/min.
660- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
670- G01 X5.0 Z8.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
680- S1600 ;	La vitesse de rotation de la broche est de 1600 RPM.

690- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
700- X1.5 Z-1.55 ;	Déplacement rapide au point P24.
710- G41 ;	Programmation du déplacement à la gauche du point programmé.
720- G01 X1.3018 F10.0 ;	Déplacement linéaire à la gauche du point P25 en avance programmée de 10.0 po/min.
730- Z-1.5 ;	Déplacement linéaire à la gauche du point P26 en avance programmée.
740- G02 X1.375 Z-1.3232 R0.25 ;	Déplacement circulaire dans le sens horaire à la gauche du point P27 en avance programmée.
750- G01 Z-0.25 ;	Déplacement linéaire à la gauche du point P28 en avance programmée.
760- G02 X1.125 Z0.0 R0.25 ;	Déplacement circulaire dans le sens horaire à la gauche du point P29 en avance programmée.
770- G01 X0.5 ;	Déplacement linéaire à la gauche du point P30 en avance programmée.
780- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
790- G01 X5.0 Z8.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
800- G40 ;	Programmation du déplacement du centre de l'outil.
810- S1100 T0505 ;	La vitesse de rotation de la broche est de 1100 RPM. Le DCN utilise la compensation d'outil no 5 et l'outil utilisé est l'outil no 5.
820- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
830- X1.5 Z-1.625 ;	Déplacement rapide au point P31.
840- G01 X0.8 F6.5 ;	Déplacement au point P32 en avance programmée de 6.5 po/min.
850- X1.5 F20.0 ;	Déplacement au point P31 en avance programmée de 20.0 po/min.

860- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
870- G01 X5.0 Z8.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
880- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation d'outil et l'outil utilisé est l'outil no 1.
890- M30 ;	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit remplacer le bout de pièce restant par une pièce brute dans le mandrin et peser sur "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

N.B. Le retour au point Oo n'est pas essentiel lorsqu'il n'y a pas de changement d'outil, mais ceci permet de bien différencier les opérations d'usinage.

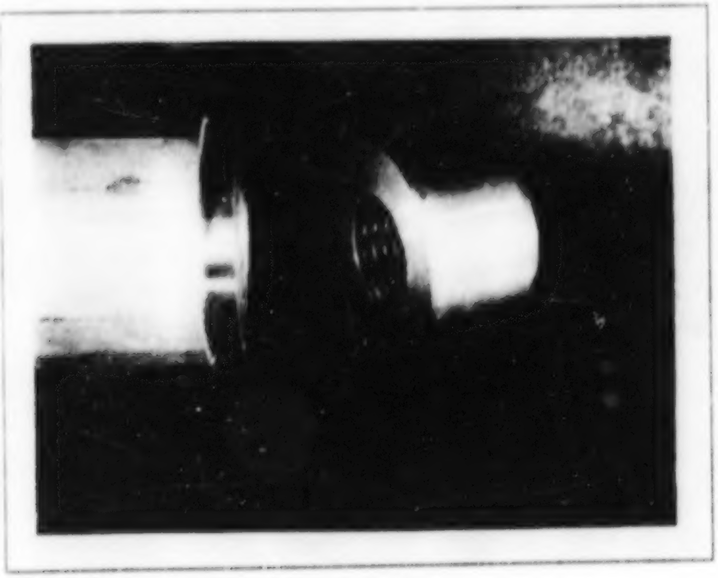


FIGURE T5.18

PROJET DE TOURNAGE NO 6

LE PION

Dossier complet

<u>INFORMATION 1</u> LA PRÉSENTATION

- La présentation devrait être insérée ici.

<u>INFORMATION 2</u> LE PLAN

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 3</u> LES SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 4</u> LES PRÉCAUTIONS

ATTENTION! le tronçonnage ne devra pas être complet. Il faudra tronçonner jusqu'à un rayon de 0.075 po, retirer l'outil, puis casser la pièce manuellement, sinon la pièce risque de se détacher brusquement et causer des dommages à l'opérateur et à la MOCN.

<u>INFORMATION 5</u> LE TEMPS D'USINAGE

<u>Temps d'usinage approximatif</u>

<u>Temps des déplacements en avance rapide</u>

Distance parcourue en avance rapide

- du point P1 au point P2

$d1 = 1.1 - (-0.0313) = 1.1313$

- du point P12 au point Oo

$$d2 = \sqrt{(5.0 - 1.1)^2 + (9.0 - (-0.3))^2} = 10.0846$$

Distance totale = d1 + d2 = 1.1313 + 10.0846 = 11.2159

Vitesse de la MOCN = 100 po/min

$$\text{Temps} = \frac{\text{Distance}}{\text{Vitesse}} = \frac{11.2159}{100} = 0.11 \text{ minute}$$

Temps = 7 secondes

Temps des déplacements en avance programmée

Distance parcourue en avance programmée

- du point P2 au point P3

$$d1 = 3.4 - 3.0062 = 0.3938$$

- du point P3 au point P13

$$d2 = \pi * 0.535 * \frac{135°}{360°} = 0.6303$$

- du point P13 au point P15

$$d3 = \pi * 0.2687 * \frac{45° + 26.565°}{360°} = 0.1679$$

- du point P15 au point P16

$$d4 = \sqrt{(0.2967 - 0.488)^2 + (1.7827 - 1.4)^2} = 0.4279$$

- du point P16 au point P6

$$d5 = 0.6187 - 0.488 = 0.1307$$

- du point P6 au point P7

$$d6 = \pi * 0.0813 * \frac{90°}{360°} = 0.0639$$

- du point P7 au point P17

$$d7 = 1.3187 - 0.8041 = 0.5146$$

- du point P17 au point P18

$$d8 = \pi * 0.0813 * \frac{45°}{360°} = 0.0319$$

- du point P18 au point P19

$$d9 = \sqrt{(0.6762 - 0.5)^2 + (0.7466 - 0.5687)^2} = 0.2504$$

- du point P19 au point P20

$$d10 = \pi * 0.1687 * \frac{90°}{360°} = 0.1325$$

- du point P20 au point P9

$$d11 = 0.8187 - 0.6687 = 0.15$$

- du point P9 au point P10

$$d12 = \pi * 0.0813 * \frac{90°}{360°} = 0.0639$$

- du point P10 au point P21

$$d13 = 0.3187 - 0.0041 = 0.3146$$

- du point P21 au point P22

$$d14 = \pi * 0.0813 * \frac{45°}{360°} = 0.0319$$

- du point P22 au point P23

$$d15 = -0.0534 - (-0.3) = 0.2466$$

- du point P23 au point P12

  d16 = 1.1 - 0.8762 = 0.2238

Distance totale = d1 + d2 + d3... + d16

d1	0.3938
d2	0.6303
d3	0.1678
d4	0.4278
d5	0.1307
d6	0.0639
d7	0.5146
d8	0.0319
d9	0.2504
d10	0.1325
d11	0.1500
d12	0.0639
d13	0.3146
d14	0.0319
d15	0.2466
d16	+ 0.2238
	3.7745 po

Distance totale = 3.7745 po

Vitesse de la MOCN = 8.0 po/min

$$\text{Temps} = \frac{\text{Distance}}{\text{Vitesse}} = \frac{3.7745}{8.0} = 0.47 \text{ minute}$$

Temps = 28 secondes

__Temps du passage de 1000 RPM à 1200 RPM__

Temps = 5 secondes

Temps d'usinage total

7 + 28 + 5 = 40 secondes

Temps total = 40 secondes

La différence entre 40 secondes calculées théoriquement et 45 secondes calculées au chronomètre est expliquée par l'imprécision des vitesses d'avance, le temps de calcul du DCN et le temps de réaction des organes de la MOCN.

Temps d'usinage réel

Étape	Temps (s)	Opération
1	230	Ébauche, sauf des 3 poches, avec l'outil no 1.
2	45	Ébauche des 3 poches avec l'outil no 1.
3	45	Finition avec l'outil no 1.
4	45	Rainurage et tronçonnage avec l'outil no 2.
5	10	Changement de pièce.

TABLEAU T6.3

Un temps total de 375 secondes ou 6 minutes et 15 secondes est requis pour usiner une pièce.

INFORMATION 6 LA LISTE DES OUTILS

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 7 LES PARAMÈTRES D'USINAGE

- Voir cahier de l'élève.

INFORMATION 8 LE SCHÉMA DES OUTILS

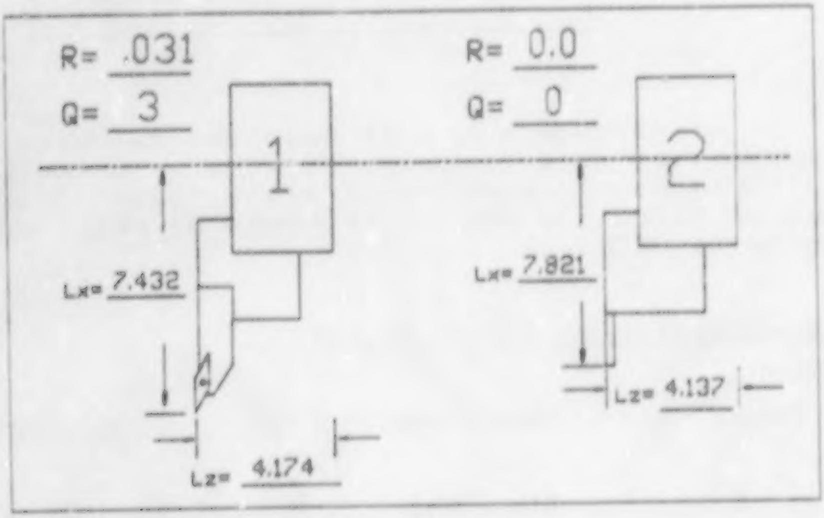


FIGURE T6.7

INFORMATION 9 LE TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

CALCULS POUR LE
TABLEAU DES COMPENSATIONS D'OUTIL

Compensation d'outil no X selon l'axe X = 2 * (Longueur de l'outil no X - Longueur de l'outil de référence)

Compensation d'outil no X selon l'axe Z = Largeur de l'outil no X - Largeur de l'outil de référence

Compensation d'outil no 1 selon l'axe X = 2 * (7.432 - 7.432) = 0.0 po

Compensation d'outil no 1 selon l'axe Z = 4.174 - 4.174 = 0.0 po

Compensation d'outil no 2 selon l'axe X = 2 * (7.821 - 7.432) = 0.778 po

Compensation d'outil no 2 selon l'axe Z = 4.137 - 4.174 = -0.037 po

Numéro de compensation	Numéro d'outil	Cote X (po)	Cote Z (po)	Rayon (po)	Facteur de position
1	1	0.0	0.0	0.031	3
2	2	0.778	-0.037	0.0	0

TABLEAU T6.4

<u>INFORMATION 10</u> L'ITINÉRAIRE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 11</u> LES CALCULS

Avant de trouver les coordonnées du point P de l'outil, il faut connaître celles de la pièce usinée.

<u>Calcul de Z22 et X21</u>

Z22 = Z0p = 0.0

X21 = X0p + 0.9 = 0.0 + 0.9 = 0.9

Z22 = 0.0
X21 = 0.9

Calcul de X22 et Z21

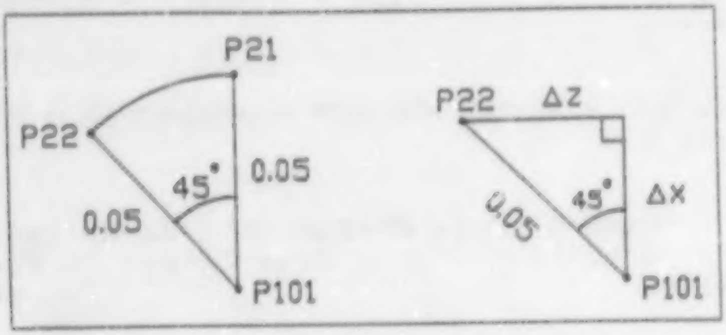


FIGURE T6.9

$$\sin 45° = \Delta z / 0.05$$

$$\Delta z = 0.05 \sin 45° = 0.0354$$

$$\cos 45° = \Delta x / 0.05$$

$$\Delta x = 0.05 \cos 45° = 0.0354$$

$$X22 = X21 - 0.05 + \Delta x = 0.9 - 0.05 + 0.0354 = 0.8854$$

$$Z21 = Z22 + \Delta z = 0.0 + 0.0354 = 0.0354$$

X22 = 0.8854
Z21 = 0.0354

Calcul de X10 et Z10

$$X10 = X21 = 0.9$$

$$X10 = Z22 + 0.4 - \text{Rayon} = 0.0 + 0.4 - 0.05 = 0.35$$

X10 = 0.9
Z10 = 0.35

Calcul de X9 et Z9

X9 = X10 - Rayon = 0.9 -0.05 = 0.85

Z9 = Z10 + Rayon = 0.35 + 0.05 = 0.4

X9 = 0.85
Z9 = 0.4

Calcul de X20 et Z20

X20 = X10 - 0.2 = 0.9 - 0.2 = 0.7

X20 = 0.7
Z20 = Z9 = 0.4

Calcul de X19 et Z19

X19 = X20 - Rayon = 0.7 - 0.2 = 0.5

Z19 = Z20 + Rayon = 0.4 + 0.2 = 0.6

X19 = 0.5
Z19 = 0.6

Calcul de X17 et Z18

X17 = X19 + 0.2 = 0.5 + 0.2 = 0.7

Z18 = Z9 + 0.4 = 0.4 + 0.4 = 0.8

X17 = 0.7
Z18 = 0.8

Calcul de X18 et Z17

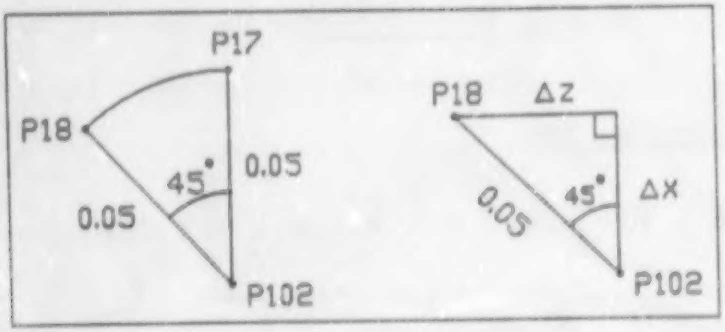


FIGURE T6.7

$\sin 45° = \Delta z / 0.05$

$\Delta z = 0.05 \sin 45° = 0.0354$

$\cos 45° = \Delta x / 0.05$

$\Delta x = 0.05 \cos 45° = 0.0354$

$X18 = X17 - 0.05 + \Delta x = 0.7 - 0.05 + 0.0354 = 0.6854$

$Z17 = Z18 + \Delta z = 0.8 + 0.0354 = 0.8354$

X18 = 0.6854
Z17 = 0.8354

Calcul de X7 et Z7

Z7 = Z18 + 0.6 - Rayon = 0.8 + 0.6 - 0.05 = 1.35

$$X7 = X17 = 0.7$$
$$Z7 = 1.35$$

Calcul de X6 et Z6

$$X6 = X7 - Rayon = 0.7 - 0.05 = 0.65$$
$$Z6 = Z7 + Rayon = 1.35 + 0.05 = 1.40$$

$$X6 = 0.65$$
$$Z6 = 1.40$$

Calcul de X16 et Z16

$$X16 = X0p + 0.5 = 0.0 + 0.5 = 0.5$$

$$X16 = 0.5$$
$$Z16 = Z6 = 1.4$$

Calcul de X15 et Z15

$$X15 = X0p + 0.3 = 0.0 + 0.3 = 0.3$$
$$Z15 = Z16 + 0.4 = 1.4 + 0.4 = 1.8$$

$$X15 = 0.3$$
$$Z15 = 1.8$$

Calcul de X13 et Z13

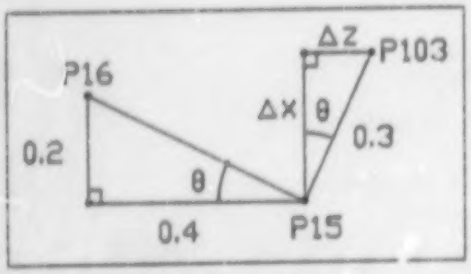


FIGURE T6.10

P103 = centre de courbure de l'arc P13P15

$TAN\ \theta = \frac{0.2}{0.4}$

$\theta = ARC\ TAN\ \frac{0.2}{0.4} = 26.565°$

$SIN\ \theta = \Delta z / 0.3$

$\Delta z = 0.3\ SIN\ 26.565° = 0.1342$

$COS\ \theta = \Delta x / 0.3$

$\Delta x = 0.3\ COS\ 26.565° = 0.2683$

$X103 = X15 + \Delta x = 0.3 + 0.2683 = 0.5683$

$Z103 = Z15 + \Delta z = 1.8 + 0.1342 = 1.9342$

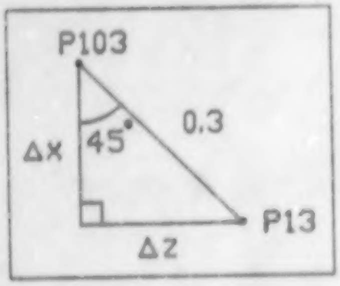


FIGURE T6.11

$SIN\ 45° = \Delta z / 0.3$

$\Delta z = 0.3\ SIN\ 45° = 0.2121$

$COS\ 45° = \Delta x / 0.3$

$\Delta x = 0.3\ COS\ 45° = 0.2121$

$X13 = X103 - \Delta x = 0.5683 - 0.2121 = 0.3562$

$Z13 = Z103 + \Delta z = 1.9342 + 0.2121 = 2.1463$

X13 = 0.3562
Z13 = 2.1463

Calcul de X14 et Z14

X14 = X103 - Rayon de courbure = 0.5683 - 0.3 = 0.2683

Z14 = Z103 = 1.9342

X14 = 0.2683
Z14 = 1.9342

Calcul de X4 et Z4

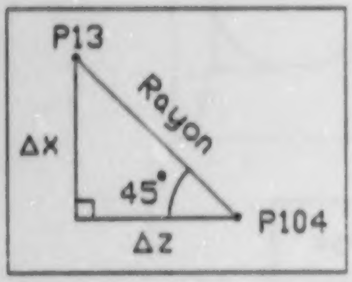


FIGURE T6.12

P104 = centre de courbure de l'arc P4P13

X104 = XOp = 0.0

Δx = X13 - X104 = 0.3562 - 0.0
= 0.3562

SIN 45° = Δx / Rayon

Rayon = Δx / SIN 45°
= 0.3562 / SIN 45° = 0.5037

Δz = Δx = 0.3562 parce que le triangle est isocèle

Z104 = Z13 + Δz = 2.1463 + 0.3562 = 2.5025

X4 = X104 + Rayon = 0.0 + 0.5037 = 0.5037

Z4 = Z104 = 2.5025

X4 = 0.5037
Z4 = 2.5025

Calcul de X3 et Z3

X3 = X104 = 0.0

Z3 = Z104 + Rayon = 2.5025 + 0.5037 = 3.0062

X3 = 0.0
Z3 = 3.0062

Calcul de X2

X2 = X3 = 0.0

Calcul de X23

X23 = X22 = 0.8854

Maintenant que nous connaissons les coordonnées de la surface usinée, il faut calculer les coordonnées du point P de l'outil qui donneront la pièce désirée.

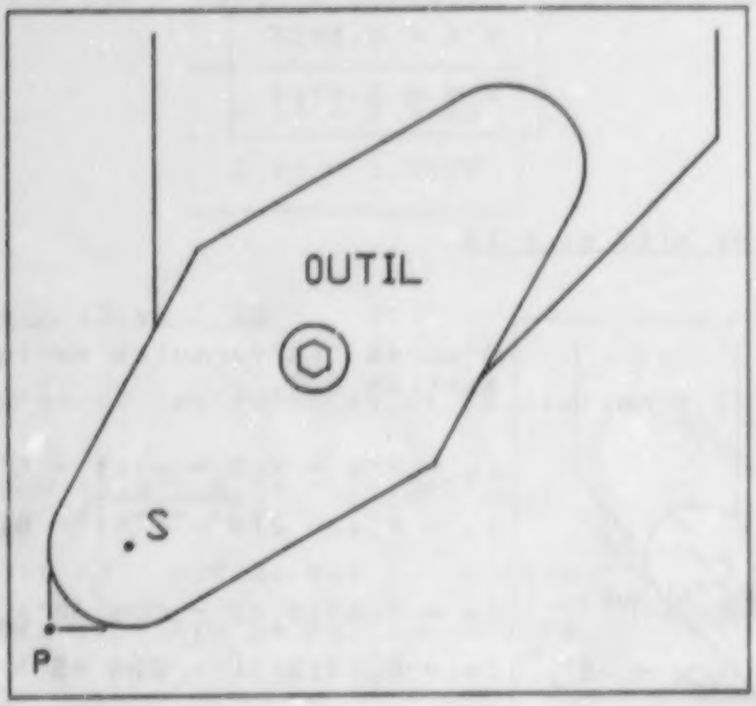


FIGURE T6.13

__Calcul de X'3 et Z'3__

X'3 = X3 - Rayon d'outil = 0.0 - 0.0313 = -0.0313

Z'3 = Z3 = 3.0062

X'3 = -0.0313
Z'3 = 3.0062

__Calcul de X'4 et Z'4__

X'4 = X4 = 0.5037

Z'4 = Z4 - Rayon = 2.5025 - 0.0313 = 2.4712

X'4 = 0.5037
Z'4 = 2.4712

Calcul de X'13 et Z'13

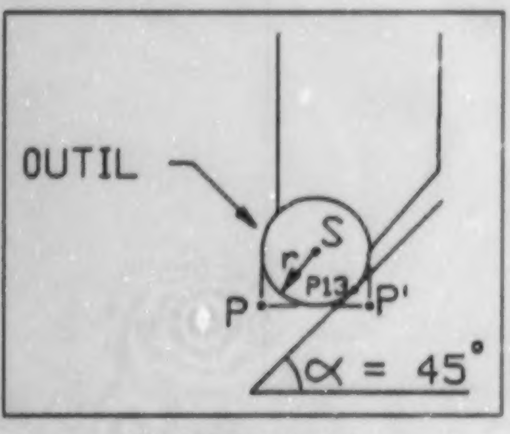


FIGURE T6.14

D'après les formules de la section 9.2,

$\Delta x = P'x - X13 = r\ (1 - \cos\alpha)$

$\Delta z = P'z - Z13 = r\ (1 - \sin\alpha)$

$\Delta x = 0.0313\ (1 - \cos 45°) = 0.0092$

$\Delta z = 0.0313\ (1 - \sin 45°) = 0.0092$

Le point P'13 qu'on utilise est situé à 2 rayons d'outil à la gauche du point P'.

$X'13 = X13 - \Delta x = 0.3562 - 0.0092 = 0.347$

$Z'13 = Z13 + \Delta z - 2\ \text{Rayon} = 2.1463 + .0092 - 2 * .0313$

$= 2.0929$

X'13 = 0.347
Z'13 = 2.0929

Calcul de X'14 et Z'14

X'14 = X14 = 0.2683

Z'14 = Z14 - Rayon = 1.9342 - 0.0313 = 1.9029

X'14 = 0.2683
Z'14 = 1.9029

Calcul de X'15 et Z'15

D'après les formules de la section 9.2,

$$\alpha = \text{ARC TAN } \frac{(0.3 - 0.5)}{(1.4 - 1.8)} = 26.565°$$

Δx = 0.0313 (1 - COS 26.565°) = 0.0033

Δz = 0.0313 (1 - SIN 26.565°) = 0.0173

X'15 = X15 - Δx = 0.3 - 0.0033 = 0.2967

Z'15 = Z15 - Δz = 1.8 - 0.0173 = 1.7827

X'15 = 0.2967
Z'15 = 1.7827

Calcul de X'16 et Z'16

D'après la géométrie 2 de la section 8.3.1,

X'16 = X16 + Δx - Rayon

Δx = Rayon * TAN (45° - α/2)

X'16 = X16 + Rayon * TAN (45° - α/2) - Rayon

= 0.5 + 0.0313 * TAN (45° - 26.565/2) - 0.0313

= 0.4880

Z'16 = Z16 + Δz − Rayon

Δz = Rayon

Z'16 = Z16 + Rayon − Rayon = Z16 = 1.4

X'16 = 0.488
Z'16 = 1.4

Calcul de X'6 et Z'6

X'6 = X6 − Rayon = 0.65 − 0.0313 = 0.6187

Z'6 = Z6 = 1.4

X'6 = 0.6187
Z'6 = 1.4

Calcul de X'7 et Z'7

X'7 = X7 = 0.7

Z'7 = Z7 − Rayon = 1.35 − 0.0313 = 1.3187

X'7 = 0.7
Z'7 = 1.3187

Calcul de X'17 et Z'17

X'17 = X17 = 0.7

Z'17 = Z17 − Rayon = 0.8354 − 0.0313 = 0.8041

X'17 = 0.7
Z'17 = 0.8041

<u>Calcul de X'18 et Z'18</u>

D'après les formules de la section 9.2,

$\Delta x = 0.0313 \ (1 - \cos 45°) = 0.0092$

$\Delta z = 0.0313 \ (1 - \sin 45°) = 0.0092$

$X'18 = X18 - \Delta x = 0.6854 - 0.0092 = 0.6762$

$Z'18 = Z18 + \Delta z - 2 \ Rayon = 0.8 + 0.0092 - 2 * 0.0313$

$= 0.7466$

X'18 = 0.6762
Z'18 = 0.7466

<u>Calcul de X'19 et Z'19</u>

$X'19 = X19 = 0.5$

$Z'19 = Z19 - Rayon = 0.6 - 0.0313 = 0.5687$

X'19 = 0.5
Z'19 = 0.5687

Calcul de X'20 et Z'20

X'20 = X20 - Rayon = 0.7 - 0.0313 = 0.6687

Z'20 = Z20 = 0.4

X'20 = 0.6687
Z'20 = 0.4

Calcul de X'9 et Z'9

X'9 = X9 - Rayon = 0.85 - 0.0313 = 0.8187

Z'9 = Z9 = 0.4

X'9 = 0.8187
Z'9 = 0.4

Calcul de X'10 et Z'10

X'10 = X10 = 0.9

Z'10 = Z10 - Rayon = 0.35 - 0.0313 = 0.3187

X'10 = 0.9
Z'10 = 0.3187

Calcul de X'21 et Z'21

X'21 = X21 = 0.9

Z'21 = Z21 - Rayon = 0.0354 - 0.0313 = 0.0041

X'21 = 0.9
Z'21 = 0.0041

Calcul de X'22 et Z'22

D'après les formules de la section 9.2,

$\Delta x = 0.0313\ (1 - \cos 45°) = 0.0092$

$\Delta z = 0.0313\ (1 - \sin 45°) = 0.0092$

$X'22 = X22 - \Delta x = 0.8854 - 0.0092 = 0.8762$

$Z'22 = Z22 + \Delta z - 2\ \text{Rayon} = 0.0 + 0.0092 - 2 * 0.0313$

$= -0.0534$

X'22 = 0.8762
Z'22 = -0.0534

Calcul de X'23

X'23 = X'22 = 0.8762

Calcul de X'2

X'2 = X'3 = -0.0313

Calcul de X25 et X27

X25 = X27 = X19 = 0.5

Calcul de Z24 et Z25

Z24 = Z18 - Largeur de tronçonnage

= 0.8 - 0.125 = 0.675

Z24 = Z25 = 0.675

Calcul de Z26, Z27 et Z28

Z26 = Z27 = Z28 = Z19 = 0.6

Calcul de Z29 et Z30

Z29 = Z0p - Largeur de tronçonnage

= 0.0 - 0.125

Z29 = Z30 = -0.125

Calcul des rayons de courbure programmés

RAPPEL

Coin extérieur (convexe)

Rayon programmé = Rayon usiné + Rayon d'outil

Coin intérieur (concave)

Rayon programmé = Rayon usiné + Rayon d'outil

Arc P3P4 et P4P5

Rayon = 0.5037 + 0.0313 = 0.535

Arc P13P21

Rayon = 0.3 - 0.0313 = 0.2687

Arc P6P7, P9P10, P17P18 et P21P22

Rayon = 0.05 + 0.0313 = 0.0813

Arc P19P20

Rayon = 0.2 - 0.0313 = 0.1687

Pour l'ébauche de toute la pièce, sauf des poches, il faut connaître en plus de certaines coordonnées du trajet final, celles des points P'5, P'8 et P'11.

Calcul de X'5 et Z'5

$$X'5 = X'4 = 0.5037$$
$$Z'5 = Z'6 = 1.4$$

Calcul de X'8 et Z'8

$$X'8 = X'7 = 0.7$$
$$Z'8 = Z'9 = 0.4$$

Calcul de X'11

$$X'11 = X'10 = 0.9$$

INFORMATION 12 LE TABLEAU DE POSITIONNEMENT

Point	X (po)	Z (po)
Oo	5.0	9.0
Oi	8.318	9.0
Om	8.318	15.893
Oo	5.0	9.0
P1	1.1	3.4
P2	-0.0313	3.4
P3	-0.0313	3.0062
P4	0.5037	2.4712
P5	0.5037	1.4

P6	0.6187	1.4
P7	0.7	1.3187
P8	0.7	0.4
P9	0.8187	0.4
P10	0.9	0.3187
P11	0.9	-0.3
P12	1.1	-0.3
P1	1.1	3.4

Dégrossissage des 3 poches puis retour au point P1.

P2	-0.0313	3.4
P3	-0.0313	3.0062
P4	0.5037	2.4712
P13	0.347	2.0929
P14	0.2683	1.9029
P15	0.2967	1.7827
P16	0.488	1.4
P6	0.6187	1.4
P7	0.7	1.3187
P17	0.7	0.8041
P18	0.6762	0.7466
P19	0.5	0.5687
P20	0.6687	0.4
P9	0.8187	0.4
P10	0.9	0.3187
P21	0.9	0.0041
P22	0.8762	-0.0534
P23	0.8762	-0.3

P12	1.1	-0.3
Oo	5.0	9.0
P24	0.8	0.675
P25	0.5	0.675
P24	0.8	0.675
P26	0.8	0.6
P27	0.5	0.6
P28	1.1	0.6
P29	1.1	-0.125
P30	0.075	-0.125
P29	1.1	-1.125
Oo	5.0	9.0

TABLEAU T6.5

N.B. Les coordonnées des points Oi et Om données ici dépendent de la MOCN utilisée, des outils utilisés, de la dimension exacte de la pièce brute et de la position de cette pièce brute dans le mandrin. Toutes ces raisons font que les coordonnées de vos points Oi et Om n'ont pas les mêmes valeurs que les nôtres.

<u>INFORMATION 13</u> LE SCHÉMA DU MONTAGE

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 14</u> LES PRÉPARATIFS

- Voir cahier de l'élève.

<u>INFORMATION 15</u> LE MANUSCRIT

- Le manuscrit devrait être inséré ici.

INFORMATION 16 LE PROGRAMME PIÈCE COMMENTÉ

Programme pièce	Commentaires
10- G20 G40 G96 G98 ;	Programmation du centre de l'outil, en pouces, avec une vitesse périphérique constante en avance par minute.
20- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
30- G10 P01 X0.0 Z0.0 R0.0313 Q3 ;	La compensation d'outil no 1 est de 0.0 po sur le diamètre selon l'axe X, de 0.0 po selon l'axe Z, de 0.0313 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point P qui est situé dans la direction -X et -Z par rapport au centre de l'outil.
40- G10 P02 X0.778 Z-0.037 R0.0 Q0 ;	La compensation d'outil no 2 est de 0.778 po sur le diamètre selon l'axe X, de -0.037 po selon l'axe Z, de 0.0 po sur le rayon. Le facteur de position de l'outil indique une programmation du point S.
50- / G28 U0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe X. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
60- / G28 W0.0 ;	Retour à l'origine machine selon l'axe Z. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
70- / G50 X8.318 Z15.893 S3000 ;	L'outil se trouve à l'origine machine de coordonnées (8.318 , 15.893) et la vitesse de rotation maximale de la broche est de 3000 RPM. Ce bloc sera omis si le commutateur d'omission de blocs est activé.
80- G01 X5.0 Z9.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.

90- M04 S1000 T0101 ;	La broche se met à tourner dans le sens antihoraire à une vitesse périphérique de 1000 pi/min. Le DCN utilise la compensation d'outil no 1 et l'outil utilisé est l'outil no 1.
100- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
110- G01 X1.1 Z3.4 ;	Déplacement rapide au point P1.
120- G71 P10 Q20 U0.02 W0.02 D500 F15.0 ;	Le cycle de dégrossissage en chariotage permet de dégrossir suivant le trajet décrit entre les indications N10 et N20, en laissant une surépaisseur de 0.02 po sur le rayon et sur la longueur de la pièce avec une profondeur de coupe par passe de 0.05 po et en avance programmée de 15.0 po/min.
130- N10 G01 X-0.0313 ;	Déplacement linéaire au point P2. Ce bloc est identifié N10.
140- Z3.0062 ;	Déplacement linéaire au point P3.
150- G03 X0.5037 Z2.4712 R0.535 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P4.
160- G01 Z1.4 ;	Déplacement linéaire au point P5.
170- X0.6187 ;	Déplacement linéaire au point P6.
180- G03 X0.7 Z1.3187 R0.0813 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P7.
190- G01 Z0.4 ;	Déplacement linéaire au point P8.
200- X0.8187 ;	Déplacement linéaire au point P9.
210- G03 X0.9 Z0.3187 R0.0813 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P10.
220- G01 Z-0.3 ;	Déplacement linéaire au point P11.
230- N20 X1.1 ;	Déplacement linéaire au point P12. Ce bloc est identifié N20.

240- à 770- Ces blocs permettent de dégrossir les 3 poches en laissant une surépaisseur de 0.02 po avec l'outil utilisé précédemment, à la même vitesse périphérique et à la même vitesse d'avance. Après ces opérations, l'outil retournera au point P1 en avance rapide.

```
240- G01 X0.6 Z2.4712 F100.0;
250- G01 X0.5237 F15.0 ;
260- G03 X0.4707 Z2.2345 R0.555 ;
270- G01 X0.4704 Z1.4801 ;
280- X0.5004 Z1.42 ;
290- X0.5237 ;
300- Z2.4712 F30.0 ;
310- G03 X0.4177 Z2.145 R0.555 F15.0 ;
320- G01 X0.4204 Z1.5801 ;
330- X0.5004 Z1.42 ;
340- X0.5237 ;
350- Z2.4712 F30.0 ;
360- G03 X0.3647 Z2.0824 R0.555 F15.0 ;
370- G01 X0.3604 Z1.6801 ;
380- X0.4704 Z1.48 ;
390- X0.4737 Z2.2345 F30.0 ;
400- G03 X0.3611 Z2.0788 R0.555 F15.0 ;
410- G02 X0.3197 Z2.024 R0.2487 ;
420- G01 X0.3204 Z1.7801 ;
430- X0.4204 Z1.5801 ;
440- X0.4177 Z2.145 F30.0 ;
450- G03 X0.3611 Z2.0788 R0.555 F15.0 ;
460- G02 X0.2883 Z1.9025 R0.2487 ;
470- X0.3146 Z1.7916 R0.2487 ;
480- G01 X0.3704 Z1.6801 ;
490- G01 X1.1 F100.0 ;
500- Z0.8041 ;
510- G01 X0.72 F15.0 ;
520- G03 X0.6903 Z0.7325 R0.1013 ;
530- G01 X0.6608 Z0.703 ;
540- X0.6439 Z0.4221 ;
550- G02 X0.6687 Z0.42 R0.1487 ;
560- G01 X0.72 ;
570- Z0.8041 F30.0 ;
580- G03 X0.6903 Z0.7325 R0.1013 F15.0 ;
590- G01 X0.6108 Z0.653 ;
600- X0.6026 Z0.4355 ;
610- G02 X0.6687 Z0.42 R0.1487 ;
620- G01 X0.72 ;
630- Z0.8041 F30.0 ;
640- G03 X0.6903 Z0.7325 R0.1013 F15.0 ;
650- G01 X0.5608 Z0.603 ;
660- X0.5603 Z0.4658 ;
670- G02 X0.6439 Z0.4221 R0.1487 ;
680- G01 X0.6608 Z0.703 F30.0 ;
690- X0.52 Z0.5687 F15.0 ;
700- G02 X0.6026 Z0.4355 R0.1487 ;
```

```
710- G01 X1.1 F100.0 ;
720- Z0.0041 ;
730- G01 X0.92 F15.0 ;
740- G03 X0.8903 Z-0.0675 R0.1013 ;
750- G01 Z-0.3 ;
760- X1.1 ;
770- G01 Z3.4 F100.0 ;
```

780- S1200 ;	La vitesse périphérique est de 1200 pi/min.
790- X-0.0313 ;	Déplacement rapide au point P2.
800- G01 Z3.0062 F8.0 ;	Déplacement linéaire au point P3 en avance programmée de 8.0 po/min.
810- G03 X0.5037 Z2.4712 R0.535 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P4 en avance programmée.
820- X0.347 Z2.0929 R0.535 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P13 en avance programmée.
830- G02 X0.2683 Z1.9029 R0.2687 ;	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P14 en avance programmée.
840- X0.2967 Z1.7827 R0.2687 ;	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P15 en avance programmée.
850- G01 X0.488 Z1.4 ;	Déplacement linéaire au point P16 en avance programmée.
860- X0.6187 ;	Déplacement linéaire au point P6 en avance programmée.
870- G03 X0.7 Z1.3187 R0.0813 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P7 en avance programmée.
880- G01 Z0.8041 ;	Déplacement linéaire au point P17 en avance programmée.
890- G03 X0.6762 Z0.7466 R0.0813 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P18 en avance programmée.
900- G01 X0.5 Z0.5687 ;	Déplacement linéaire au point P19 en avance programmée.

910- G02 X0.6687 Z0.4 R0.1687 ;	Déplacement circulaire dans le sens horaire au point P20 en avance programmée.
920- G01 X0.8187 ;	Déplacement linéaire au point P9 en avance programmée.
930- G03 X0.9 Z0.3187 R0.0813 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P10 en avance programmée.
940- G01 Z0.0041 ;	Déplacement linéaire au point P21 en avance programmée.
950- G03 X0.8762 Z-0.0534 R0.0813 ;	Déplacement circulaire dans le sens antihoraire au point P22 en avance programmée.
960- G01 Z-0.3 ;	Déplacement linéaire au point P23 en avance programmée.
970- X1.1 ;	Déplacement linéaire au point P12 en avance programmée.
980- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
990- G01 X5.0 Z9.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
1000- S600 T0202 ;	La vitesse périphérique est de 600 pi/min. Le DCN utilise la compensation d'outil no 2 et l'outil utilisé est l'outil no 2.
1010- M08 ;	Le fluide de coupe se met à couler.
1020- X0.8 Z0.675 ;	Déplacement rapide au point P24.
1030- G01 X0.5 F6.0 ;	Déplacement linéaire au point P25 en avance programmée de 6.0 po/min.
1040- G01 X0.8 F100.0 ;	Déplacement rapide au point P24.
1050- Z0.6 ;	Déplacement rapide au point P26.
1060- G01 X0.5 F6.0 ;	Déplacement linéaire au point P27 en avance programmée de 6.0 po/min.
1070- G01 X1.1 F100.0 ;	Déplacement rapide au point P28.
1080- Z-0.125 ;	Déplacement rapide au point P29.

1090- G01 X0.075 F6.0 ;	Déplacement linéaire au point P30 en avance programmée de 6.0 po/min.
1100- X1.1 F20.0 ;	Déplacement linéaire au point P29 en avance programmée de 20.0 po/min.
1110- M09 ;	Le fluide de coupe arrête de couler.
1120- G01 X5.0 Z9.0 F100.0 ;	Déplacement rapide au point Oo.
1130- T0100 ;	Le DCN utilise la compensation d'outil no 0, c'est-à-dire aucune compensation d'outil et l'outil utilisé est l'outil no 1.
1140- M30 ;	Fin du programme et rebobinage du ruban. Arrêt de la rotation de la broche.

L'opérateur doit remplacer le bout de pièce restant par une pièce brute dans le mandrin et peser sur "START". L'usinage de cette nouvelle pièce est alors en cours à la ligne 10 du programme pièce.

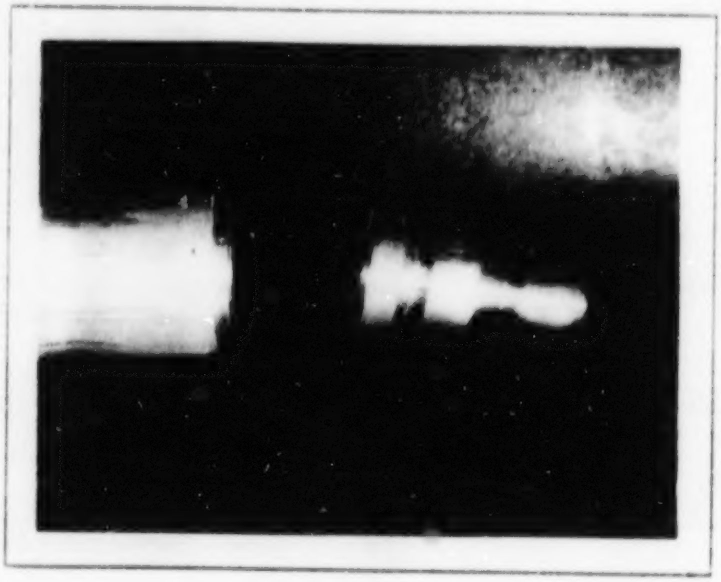


FIGURE T6.15

La commande numérique prend de plus en plus de place dans l'industrie québécoise. Aujourd'hui, beaucoup de grandes entreprises et aussi beaucoup de PME sont équipées de machines à commande numérique. Ces machines ne peuvent fonctionner sans opérateur et sans programmeur qualifiés. Certaines entreprises entraînent elles-mêmes leur personnel; d'autres engagent du personnel qualifié sortant des écoles. C'est là que nous intervenons.

Au Québec, plusieurs écoles secondaires enseignent la commande numérique. Un problème se pose toutefois; il y a un manque de matériel didactique adéquat. Nous avons tenté de créer un manuel d'apprentissage de la commande numérique de langue française, adapté au niveau professionnel et que nous avons voulu le plus complet possible.

Ce manuel s'adresse à ceux qui veulent devenir opérateur ou programmeur de MOCN. Le langage de programmation utilisé est le langage machine aussi appelé la programmation manuelle.

Éditions du CRP
Faculté d'éducation
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Sherbrooke (Québec)
J1K 2R1